

# VESIHALLITUKSEN MONISTESARJA

vesikynäyhtiö  
Kernoullin yhtiö  
Manningin kaava  
Kajastus ja vesikynäyhtiö avokanavassa  
veden purkautuminen suusta

1981:92

OS AVOKANAVASSA  
Mitta  
Mitta  
2.21  
2.22 Purkausyhtiö ja rakennus  
2.221 Matti Pietarila  
2.222 Kolsion suotoinen mittapato  
2.223 Vapaa putous

JÄTEVEDEN VIRTAAAMAMITTAUS- JA  
NÄYTTEENOTTOMENETELMISTÄ

Matti Pietarila



V E S I H A L L I T U K S E N    M O N I S T E S A R J A

1981:92

JÄTEVEDEN VIRTAAAMAMITTAUS- JA  
NÄYTTEENOTTOMENETELMISTÄ

Matti Pietarila

Vesihallitus  
Helsinki 1981

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä eikä siihen voida vedota vesihallituksen virallisena kannanottona.

## S I S Ä L L Y S

	Sivu
JOHDANTO	5
TIIVISTELMÄ	6
I VIRTAAMAMITTAUS	7
1. TEOREETTISET PERUSTEET	7
1.1 Reynoldsin luku	7
1.2 Frouden luku	8
1.3 Virtausnopeusjakautuma	9
1.4 Jatkuvuusyhtälö	11
1.5 Bernoullin yhtälö	11
1.6 Manningin kaava	12
1.7 Rajasyvyys ja vesikynnys avokanavassa	13
1.8 Veden purkautuminen aukosta	15
2. MITTAUS AVOKANAVASSA	16
2.1 Mittausperiaate	16
2.2 Mittapadot eli ylisyoöksypadot	16
2.21 Mittapadon rakentaminen	16
2.22 Purkaussyhtälöt ja rajaehdot	17
2.221 Suorakulmion muotoinen mittapato	17
2.222 Kolmion muotoinen mittapato	21
2.223 Vapaa putous	24
2.3 Seisovan aallon venturikanavat	25
2.31 Kanavan rakentaminen	26
2.311 Rakennuspaikan valinta ja hydrauliset näkökohdat	26
2.312 Rakennustekniset näkökohdat	27
2.32 Suorakaidenieluinen venturi	28
2.33 Muita venturityyppejä	32
2.4 Pinnankorkeuden mittaus	35
2.41 Yleisiä näkökohtia	35
2.42 Mekaaninen mittaus	36
2.43 Pneumaattinen mittaus	36
2.44 Paineanturi (punnituskenno)	36
2.45 Sähköinen mittaus	36
2.46 Kaikuluotaus	37
2.5 Muita avokanavamittausmenetelmiä	37
2.51 Magneettinen mittari	37
2.52 Siivikkomittaus	38
2.6 Mittaustarkkuus ja virheet	38
2.7 Käyttökokeuksia	39
2.71 Avokanavavirtausmittarien julkinen testaus	39
2.72 Putkeen asennettu venturi ja V-pato	41
2.73 Käyttökokeuksia ruotsalaisilta jätevedenpuhdistamoilta	42
3. PUTKIVIRTAUSMITTAUS	42
3.1 Magneettinen virtaamamittari	43
3.2 Ultraäänimittari	44
3.21 Aikaero- ja taajuuseromittari	44
3.22 Doppler-mittari	45
3.3 Vortex- eli pyörreananamittari	46
3.4 Turbiinimittari	46

3.5	Paine-eroon perustuva mittaus	46
3.6	Muuttuva-aukkoiset mittarit	49
3.7	Tilavuuslaskijat	49
3.8	Käyttökokemuksia	50
4.	SEKALAISIA VIRTAAAMAMITTAUSMENETELMIÄ	51
4.1	Laimennusmenetelmä	51
4.2	Muita menetelmiä	52
5.	SUOMESSA MARKKINOILLA OLEVIA VIRTAAAMAMITTAREITA	53
6.	YLEISOHJEITA VIRTAAAMAMITTARIN VALINNASTA	56
II	NÄYTTEENOTTO	57
1.	YLEISTÄ	57
1.1	Näytteen edustavuus	57
1.2	Näytetyypit	57
2.	NÄYTTEENOTTO AVOKANAVASTA	58
2.1	Manuaalinen näytteenotto	58
2.2	Automaattiset näytteenottimet	59
2.21	Vakuuminäytteenottimet	59
2.22	Paineilmanäytteenottimet	60
2.23	Näytteenottopumput	60
2.24	Mekaaniset noutimet	61
2.3	Käyttökokemuksia	62
3.	NÄYTTEENOTTO SULJETUSTA SYSTEEMISTÄ	65
4.	SUOMESSA MARKKINOILLA OLEVIA NÄYTTEENOTTIMIA	66
5.	YLEISOHJEITA NÄYTTEENOTTIMEN VALINNASTA	66
	KIRJALLISUUSLUETTELO	68
	LIITTEET	71

## JOHDANTO

Jäteveden virtaamamittaus- ja näytteenottomenetelmissä tapahtuneen kehityksen huomioon ottamiseksi vesihallituksen valvontatoimisto teki vuonna 1979 aloitteen tämän käsillä olevan selvityksen laatimiseksi. Tarkoituksena oli täydentää jätevesikuormituksen velvoitetarkkailua koskevaa vesihallituksen yleisohjetta (vesihallituksen julkaisu 17) virtaamamittaus- ja näytteenottomenetelmien osalta ja antaa perusteita tarkoituksenmukaiselle velvoitetarkkailulaitteiden valinnalle.

Selvityksen on laatinut dipl.ins. Matti Pietarila vesihallituksesta apunaan työryhmä, jonka puheenjohtajana on ollut fil.kand. Raimo Penttonen vesihallituksesta sekä jäsenenä dipl.ins. Airi Karvonen vesihallituksesta ja ins. Jorma Lameranta Helsingin vesipiirin vesitoimistosta. Työryhmän asiantuntijoina ovat olleet dipl.ins. Tuomo Laukkarinen Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta ja dipl.ins. Esa Mäkelä Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta.

## TIIVISTELMÄ

Jäteveden virtaamamittaus- ja näytteenottomenetelmistä on tehty kirjallisuuden perusteella katsaus, joka sisältää pääasiassa menetelmien ja laitteiden kuvauksia sekä niistä saatuja käyttökokemuksia. Lisäksi on tehty kartoitus Suomessa markkinoilla olevista virtaamamittareista ja automaattisista näytteenottimista sekä esitetty yleisohjeita virtaamamittarin ja näytteenottimen valinnasta.



## I. VIRTAAMAMITTAUS

## 1. TEOREETTISET PERUSTEET

Seuraavassa esitetään eräitä virtaamamittaukseen liittyviä hydraulikan peruskäsitteitä.

## 1.1 REYNOLDSIN LUKU

Avokanavassa Reynoldsin luku on

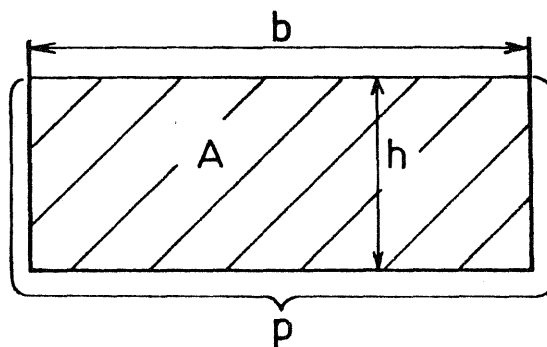
$$Re = vR/\nu \quad (1)$$

jossa

$v$  = keskimääräinen virtausnopeus (m/s)

$R$  = hydraulinen säde (m) eli hydraulinen keskisyvyys, joka on nesteen poikkileikkauksen pinta-alan  $A$  ja nesteen märän piirin  $p$  suhde (kuva 1)

$\nu$  = nesteen kinemaattinen viskositeetti ( $m^2/s$ )



Kuva 1. Nesteen märkä piiri ( $p$ ) avokanavassa (hydraulinen säde =  $A/p$ )

Putkijohdossa Reynoldsin luku on

$$Re = vD/\nu \quad (2)$$

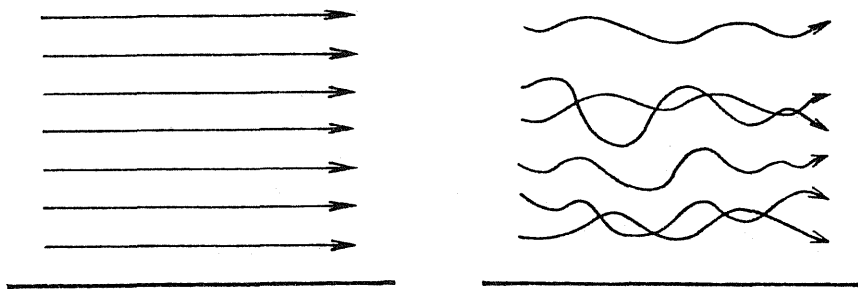
jossa  $D$  on putken halkaisija. Tämä ei ole identtinen yhtälön 1 kanssa, koska soveltamalla avokanavan yhtälöä putkijoh-

toon saataisiin Reynoldsin luvuksi  $vD/4\nu$ .

Reynoldsin luku ilmaisee, onko virtaus turbulenttinen vai laminäärinen. Kun avokanavassa  $Re$  on  $< 580$ , niin virtaus on laminäärinen. Kun  $Re$  on  $> 2500$ , niin virtaus on turbulenttinen.

Putkijohdossa virtaus on laminäärinen, mikäli  $Re$  on  $< 2300$ .

Laminaarisessa virtauksessa nesteosaset liikkuvat mutkittilemat-  
ta pitkin yhdensuuntaisia ratoja eli virtaviivoja. Kun laminaa-  
risen virtauksen nopeus kasvaa, niin tietyn kriittisen nopeuden  
yläpuolella nesteosaset alkavat mutkitella eli syntyy pyörteitä.  
Tällöin virtaus on turbulenttinen (kuva 2).



Kuva 2. Laminäärinen ja turbulenttinen virtaus

## 1.2 FROUDEN LUKU

Frouden luku määritellään kaavalla

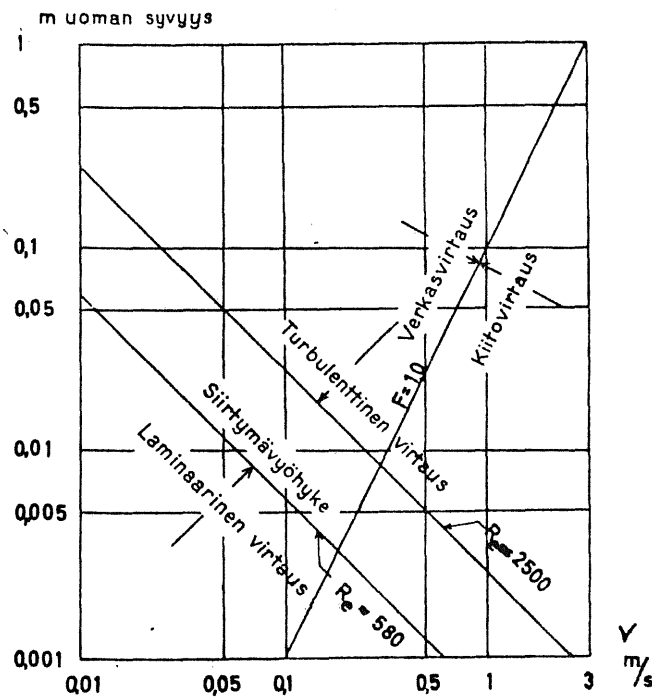
$$Fr = v/c_o = v/\sqrt{gh} \quad (3)$$

jossa  $v$  = nesteen keskimääräinen virtausnopeus (m/s)  
 $c_o$  = aallon etenemisnopeus (m/s), kun  $v = 0$   
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $m/s^2$ )  
 $h$  = nesteen syvyys (m)

Aallon etenemisnopeudella tarkoitetaan seisovan nesteen ( $v = 0$ )  
 pintaan keinotekoisesti aiheutetun häiriöaallon etenemisnopeut-

ta. Frouden luku ilmaisee, onko virtaus verkasvirtausta vai kiitovirtausta. Kun  $Fr$  on  $< 1$  eli  $v$  on  $< c_0$ , niin virtaus on verkkavirtausta. Kun  $Fr$  on  $> 1$  eli  $v$  on  $> c_0$ , niin virtaus on kiitovirtausta. Tunnusomaista kiitovirtaukselle on hyvin siileä vedenpinta ja se, että nesteen pintaan aiheutettu häiriöaalto ei voi edetä vastavirtaan.

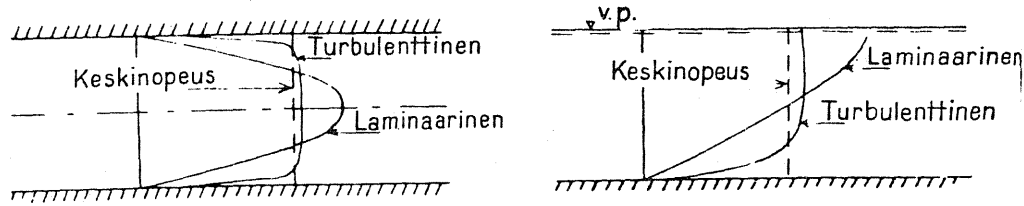
Kuvassa 3 on esitetty virtausmuotojen riippuvuus vedensyvyydestä ja virtausnopeudesta leveässä avokanavassa.



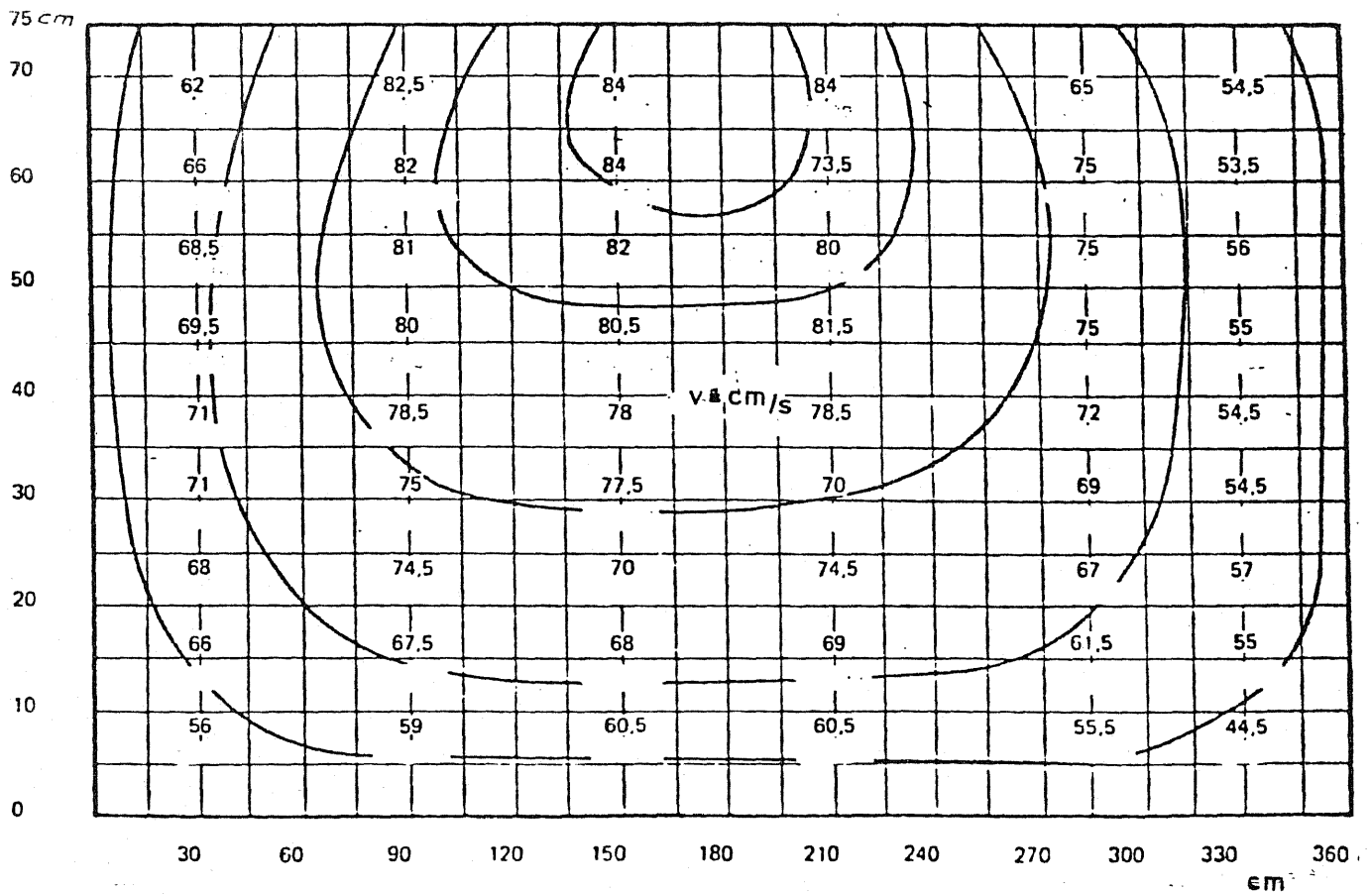
Kuva 3. Leveän avokanavan virtausmuotojen riippuvuus vedensyvyydestä ja virtausnopeudesta (2)

### 1.3 VIRTAAUSNOPEUSJAKAUTUMA

Kuvassa 4 on esitetty turbulenttisen ja laminaarisen virtauksen tyypilliset nopeuskäyrät putkessa ja avouomassa. Kuvassa 5 on esitetty numeerinen esimerkki säännöllisestä virtausnopeusjakautumasta avokanavassa.



Kuva 4. Virtausnopeuden muuttuminen putkessa ja avokanavassa (2)



Kuva 5. Esimerkki säännöllisestä virtausnopeusjakautumasta avokanavassa (7)

## 1.4 JATKUVUUSYHTÄLÖ

Jos neste on kokoonpuristumatonta, niin avouomassa ja putkessa tapahtuvalle virtaukselle pätee yhtälö

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = v_3 A_3 = \dots = \text{vakio} \quad (4)$$

jossa  $Q$  = virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$v$  = keskimääräinen virtausnopeus ( $\text{m/s}$ ) kohdassa 1,2,3...

$A$  = uoman tai putken poikkipinta-ala ( $\text{m}^2$ ) kohdassa 1,2, 3...

Keskimääräinen virtausnopeus on siten kääntäen verrannollinen poikkileikkauksen pinta-alaan.

## 1.5 BERNOULLIN YHTÄLÖ

Ideaalisen nesteen virtauksessa eri energiamuotojen (asema-, liike- ja paine-energia) summa pysyy vakiona. Tämä voidaan ilmaista Bernoullin yhtälöllä

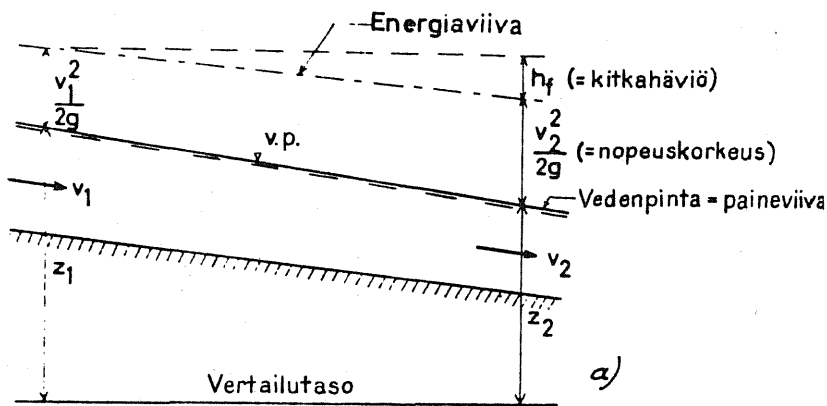
$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{vakio} \quad (5)$$

jossa  $z$  = asemakorkeus, joka on vapaasti valitun vertailutason etäisyys nesteen pinnasta

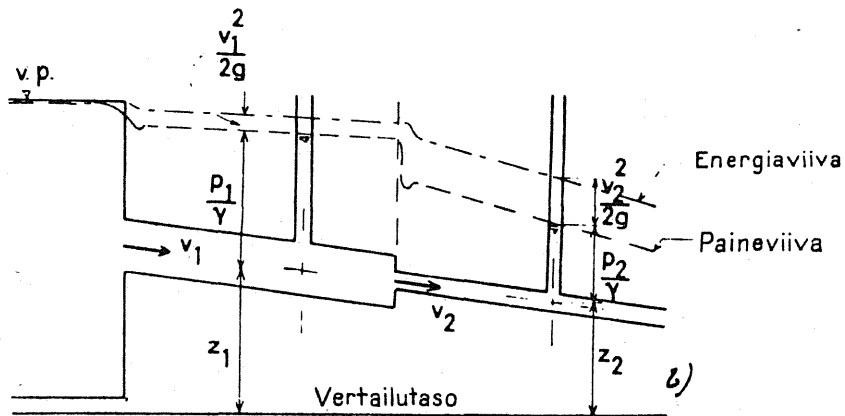
$\frac{p}{\gamma}$  = painekorkeus, joka osoittaa paineen suuruuden mitattuna nestepatsaan korkeutena ( $p$  = paine,  $\gamma$  = ominaispaino)

$\frac{v^2}{2g}$  = virtaamisnopeutta vastaava nopeuskorkeus ( $v$  = virtaamisnopeus,  $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyyys)

Jos kyseessä on todellinen neste, niin on otettava huomioon kitkahäviö (kuva 6).



Kuva 12a.



Kuva 6. Avouoman ja putkijärjestelmän energia- ja paineviivat (2)

### 1.6 MANNINGIN KAAVA

Jos virtausta aiheuttava ja vastustava voima ovat yhtä suuret, virtausta kutsutaan tasaiseksi virtaukseksi. Silloin liike ei kiihdy eikä hidastu. Tällöin avouomassa virtaavan veden keskimääräinen nopeus saadaan yhtälöstä

$$v = MR^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

jossa  $v$  = veden keskimääräinen nopeus (m/s)  
 $R$  = hydraulinen keskisyvyys (m)  
 $I = h/L$  = kanavan kaltevuus  
 $h$  = kaltevuuden korkeusero (m)  
 $L$  = kaltevan kohdan pituus (m)  
 $M$  = kerroin, jonka arvo betonikanaaleissa on seuraava:

Hiottu sementtipinta	100
Teräsmuoteilla valettu betonipinta	90 - 100
Sileä betonipinta	90 - 95
Tavalliseen puumuottiin valettu rappaamaton betoni	65 - 70
Karkea betoniverhous	55
Epätasaiset betonipinnat	50

#### 1.7 RAJASYVYYS JA VESIKYNNYS AVOKANAVASSA

Bernoullin yhtälön mukaan virtauksen energiasumma eli energia-  
korkeus säilyy vakiona. Jos nollatasoksi valitaan kanavan poh-  
ja, niin yhtälö saa muodon

$$H = h + \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

jossa  $H$  = energiakorkeus (m)  
 $h$  = kanavan nestekorkeus (m)  
 $v$  = veden keskimääräinen virtausnopeus (m/s)  
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )

Jatkuvuusyhtälön mukaan suorakulmaisessa kanavassa

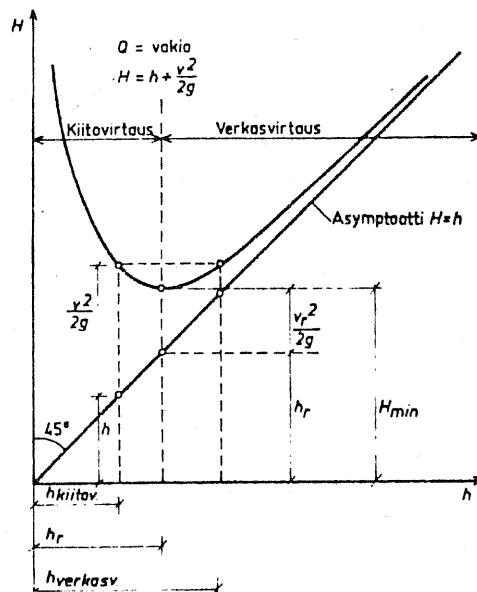
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{bh} \quad (8)$$

jossa  $v$  = keskimääräinen virtausnopeus (m/s)  
 $Q$  = virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $A$  = nesteen poikkileikkauksen pinta-ala ( $\text{m}^2$ )  
 $b$  = kanavan leveys (m)  
 $h$  = nestepinnan korkeus (m)

Yhtälö 7 saadaan yhtälön 8 avulla muotoon

$$H = h + \frac{Q^2}{2gb^2h^2} \quad (9)$$

Yhtälö 9 on esitetty graafisesti kuvassa 7, josta ilmenee, että tietty energiakorkeuden arvo saadaan kahdella eri nestepinnan korkeudella. Suurempi vedensyvyys, mutta vastaavasti pienempi nopeus edustaa verkkavirtausta, pienempi vedensyvyys, mutta suurempi nopeus kiitovirtausta. Pienin energiakorkeuden arvo saavutetaan vain yhdellä vedensyvyydellä, rajasyvyydellä ja sitä vastaavalla rajanopeudella eli kriittisellä nopeudella. Vakiovirtaama läpäisee siis uoman pienimmällä mahdollisella energiamäärällä, jos se tapahtuu rajasyvyydellä ja rajanopeudella.



Kuva 7. Energiakorkeuden riippuvuus vedensyvyydestä suorakaiteen muotoisessa uomassa (3)

Kiitovirtauksen vaihtuessa verkkavirtaukseksi vedensyvyys kasvaa ja saavuttaa rajasyvyyden arvon. Tällöin energiakorkeus saavuttaa minimiarvon eikä voi enää pienentyä. Virtaustilassa tapahtuu äkillinen hyppäys ja muodostuu vesikynnys, jossa osa



liike-energiasta muuttuu lämmöksi. Jos verkasvirtauksen vedensyvyyden ja kiitovirtauksen vedensyvyyden suhde on suurempi kuin 1,97, syntyy täydellinen vesikynnys peitevalsseineen. Jos mainittu suhde on pienempi kuin 1,78, ei peitevalssia synny, vaan sen sijaan kauas alaveteen ulottuva pinta-aaltoilu ja uoman pohjalle energiaa hävittäviä pohjavalssseja.

#### 1.8 VEDEN PURKAUTUMINEN AUKOSTA

Bernoullin yhtälön avulla voidaan johtaa Torricellin laki, jonka mukaan ideaalinen neste purkautuu astian seinässä olevasta pienestä aukosta nopeudelle

$$v = \sqrt{2 g h} \quad (10)$$

jossa  $v$  = purkautumisnopeus (m/s)  
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )  
 $h$  = aukon etäisyys nesteen pinnasta (m)

Torricellin lakiin perustuen voidaan edelleen johtaa suorakulmaisesta patoaukosta purkautuva vesimäärä

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2 g h} h^{3/2} \quad (11)$$

jossa  $Q$  = vesimäärä ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $\mu$  = purkautumiskerroin  
 $b$  = aukon leveys (m)  
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )  
 $h$  = ylävedenpinnan korkeus mitattuna padon harjasta (m)

Kaava 11 on patokaavojen perusmuoto.

## 2. MITTAUS AVOKANAVASSA

### 2.1 MITTAUSPERIAATE

Virtausmittaus avokanavassa tapahtuu mittaamalla veden pinnan korkeus ennen kanavaan rakennettua patoa tai kuristusta. Jos vesi purkautuu vapaasti padon tai kuristuksen läpi, niin virtausnopeus ja -määrä ovat riippuvaisia vedensyvyydestä ennen purkauskohtaa (ks. kohta 1.8).

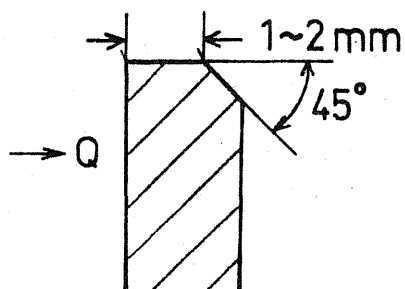
### 2.2 MITTAPADOT ELI YLISYÖKSYPADOT

Mittapato on kanavaan asennettu sulkulevy, jossa on määrätynmuotoinen purkautumisaukko. Täydellisessä ylisyöksypadossa nesteen alavesipinta ei vaikuta ylävesipinnan korkeuteen.

#### 2.21 Mittapadon rakentaminen

Mittapato voidaan rakentaa metallilevystä, muovista tai puusta. Seuraavassa esitetään mittapadon rakentamisessa huomioon otettavia seikkoja:

- Sulkulevyn pitää olla sileä ja kohtisuorassa tulovirtaamaan sekä kanavan pohjaan ja seinämiin nähden.
- Aukon reuna ja sivut on tehtävä koneistamalla teräviksi ja sileiksi. Reunan pitää olla suora ja tasainen. Alajuoksun puoleinen reuna on viistettävä vähintään 45 asteen kulmaan (kuva 8). Ylisyöksy ei saa koskettaa viistettyä osaa.



Kuva 8. Mittapadon reuna

- Yläveden puoleisen kanavan on oltava tarpeeksi pitkä, jotta virtausnopeusjakautuma on tasainen kaikilla virtaamilla. Jos tulokanavan nopeusjakautuma poikkeaa huomattavasti normaalista, nesteen purkausominaisuudet muuttuvat ja saadaan virheellisiä tuloksia.
- Ylisyöksyn alapuolella pitää olla vapaa ilmatila. Tarvittaessa on tähän tilaan järjestettävä erillinen ilman sisäänotto, jotta ylisyöksyn alapuolelle ei pääse syntymään alipainetta.
- Padon edessä eikä takana saa olla vapaata virtausta estäviä laitteita.

## 2.22 P u r k a u s y h t ä l ö t j a r a j a e h d o t

Mittapatojen purkaussyhtälöitä ja purkauskertoimien arvoja on esitetty lukuisissa julkaisuissa. Eri tutkijoiden ilmoittamat kertoimet saattavat poiketa toisistaan jopa 5 - 10 %.

Kuvassa 9 on esitetty tavallisimmin käytetyt mittapatotyyppit sekä niiden purkaussyhtälöt ja likimääräiset purkauskertoimet.

Seuraavassa käsitellään tarkemmin suorakulmion ja kolmion muotoisia mittapatoja. Lisäksi on mukana vapaa putousmittaus, jossa ei käytetä lainkaan patoa tai kuristusta.

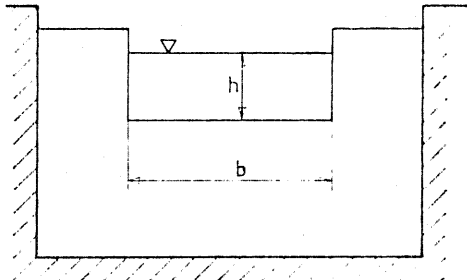
### 2.221 Suorakulmion muotoinen mittapato

Suorakulmion muotoisen mittapadon (kuva 10) purkaussyhtälö on

$$Q = \frac{2}{3} C_e b_e \sqrt{2g} h_e^{3/2} \quad (12)$$

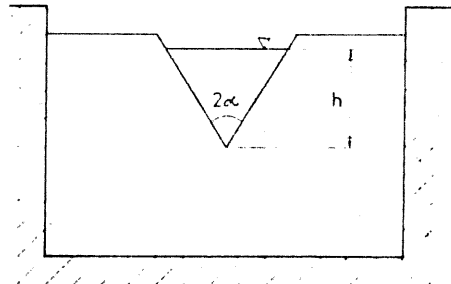
## Suorakulmion muotoinen mittapato.

$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$ . Kerroin  $\mu$  on riippuvainen mitoilsta  $h$  ja  $b$ , tavallisimmilla arvoilla  $\mu = 0,62 \left(1 - \frac{h}{5b}\right)$ .



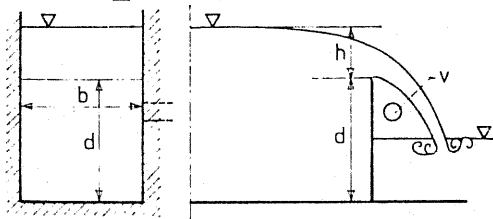
## Kolmion muotoinen mittapato.

$Q = \frac{1}{15} c \operatorname{tg} \alpha \sqrt{2g} \cdot h^{5/2}$ . Thomsonin padossa  $2\alpha = 90^\circ$ , jolloin  $Q = \frac{8}{15} c \sqrt{2g} h^{5/2}$ .  $c$  otaksutaan tavallisesti vakioksi  $c = 0,58$ , jolloin  $Q = 1,4 h^{5/2}$ .



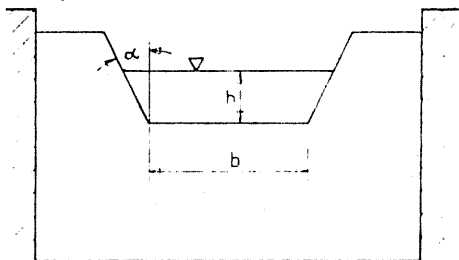
## Suoraharjainen yllsyöksypato mittapatonä.

$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} h^{3/2}$ ,  $\mu \approx 0,61$ , kun  $h/d \leq 0,65$ .



## Puolisuunnikkaan muotoinen mittapato.

$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} h^{3/2} (b + 0,8 h \operatorname{tg} \alpha)$ . Cipolettin padossa  $\alpha = 14^\circ$ , jolloin  $\operatorname{tg} \alpha = 0,25$  ja  $Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} h^{3/2}$ , missä kertoimella on vakioarvo  $\mu = 0,63$ .



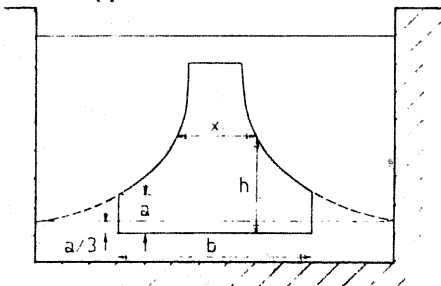
## Padotukseen suoraan verrannollinen mittapato, Sutropato.

$Q = c b \sqrt{2ga} (h - \frac{1}{3} a) = k (h - \frac{1}{3} a) = k h'$ .

Patoaukon muodon tulee täyttää ehto

$x/b = 1 - (2/\pi) \operatorname{tg}^{-1} [(h/a) - 1]^{1/2}$ .

Kerroin  $k$  riippuu aukon reunan muodosta, kerroin  $c = 0,61$  [8].



Kuva 9. Tavallisimmin käytetyt mittapatotyyppit (4)

jossa  $Q$  = virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $C_e$  = purkautumiskerroin  
 $b_e$  = aukon tehollinen leveys (m)  
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $\text{m}/\text{s}^2$ )  
 $h_e$  = tehollinen vedenpinnan korkeus (m)

Lämpötila-alueella 5 - 30 °C purkautumiskerroin  $C_e$  on kahden muuttujan funktio:

$$C_e = f\left(\frac{b}{B}, \frac{h}{p}\right) \quad (13)$$

jossa  $b$  = aukon mitattu leveys (m)  
 $B$  = yläkanavan leveys (m)  
 $h$  = mitattu vedenpinnan korkeus (m)  
 $p$  = padon harjan etäisyys yläkanavan pohjasta (m)

Tehollinen leveys ja vedenpinnan korkeus saadaan yhtälöistä

$$b_e = b + k_b \quad (14)$$

ja

$$h_e = h + k_h \quad (15)$$

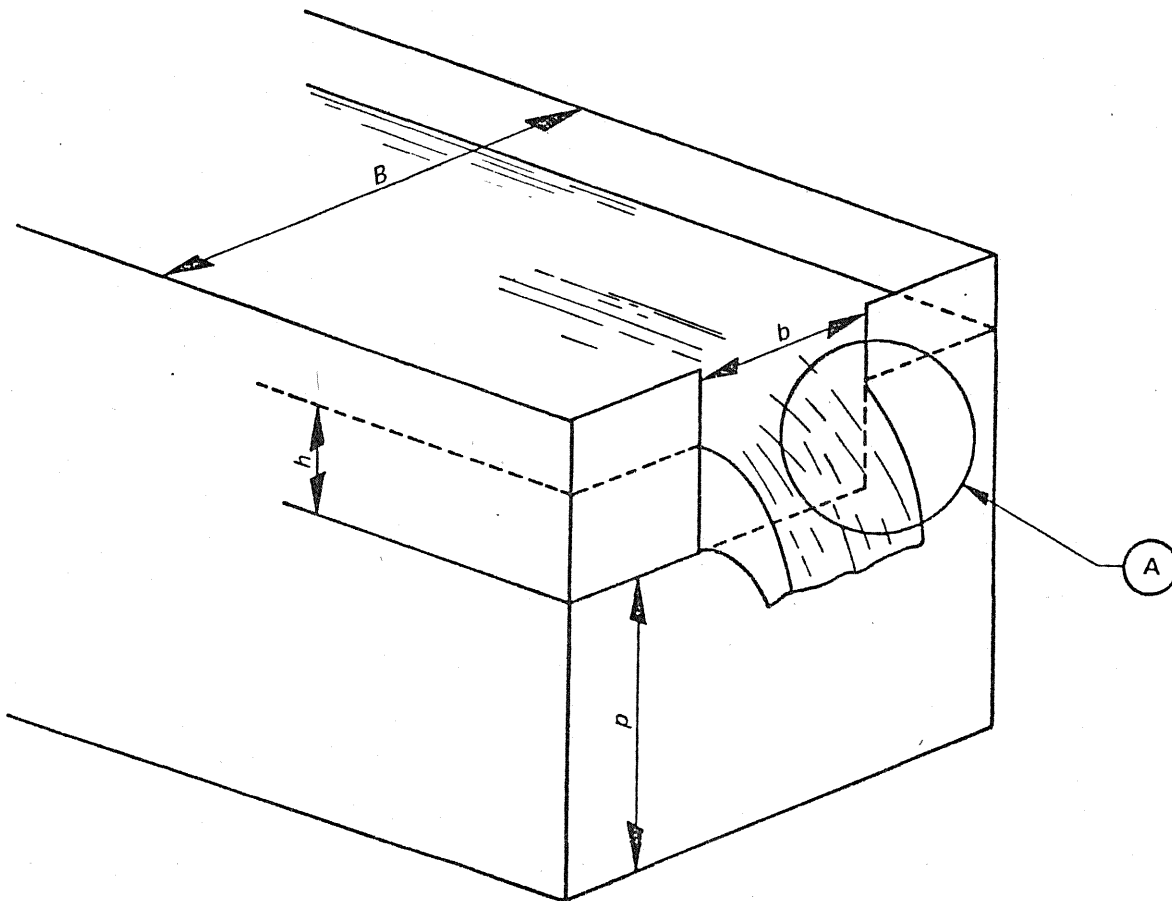
joissa  $k_b$  ja  $k_h$  ovat kokeellisesti määritettyjä suureita, jotka kompensoivat pintajännityksen ja viskositeetin vaikutuksen.

Purkautumiskertoimen  $C_e$  arvot saadaan kuvasta 11 ja  $k_b$ :n arvot kuvasta 12. Yhtälössä 15 esiintyvälle  $k_h$ :lle suositellaan vakioarvoa 1,0 mm (0,001 m).

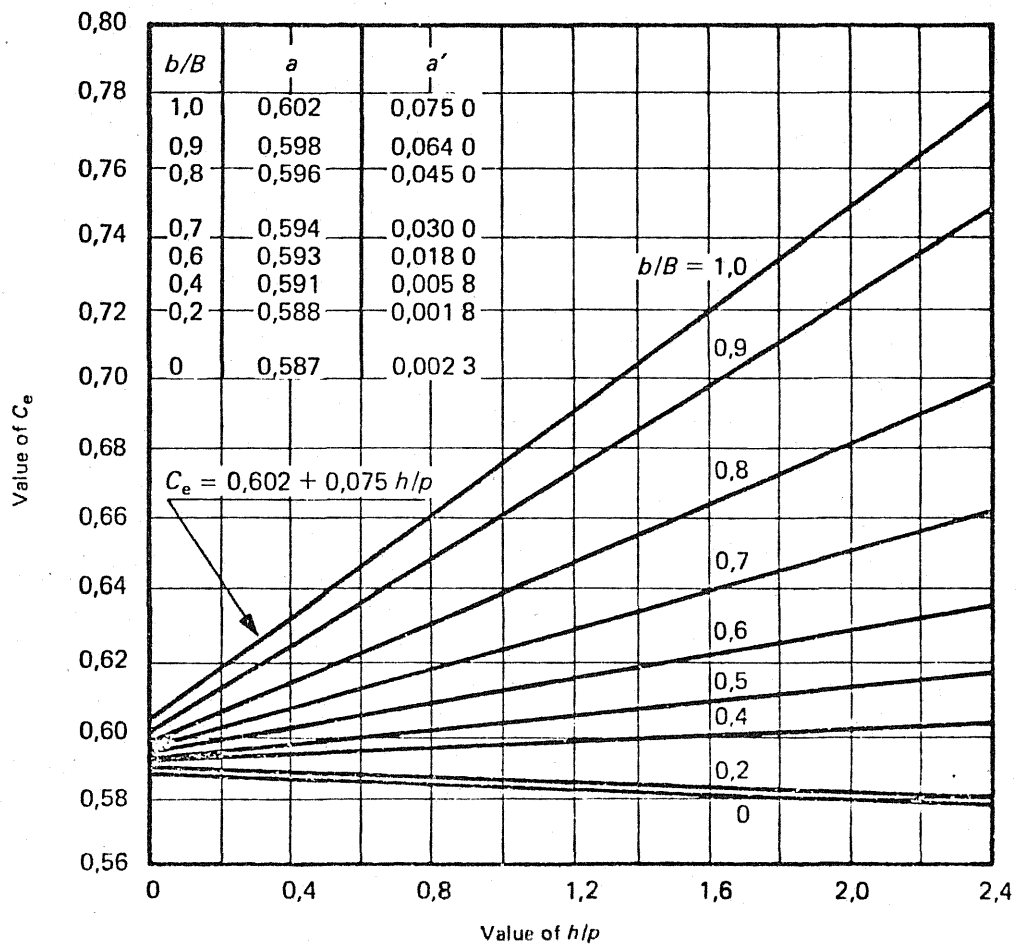
Lähteessä 5 on esitetty myös vaihtoehtoja yhtälölle 12.

Rajaehdot:

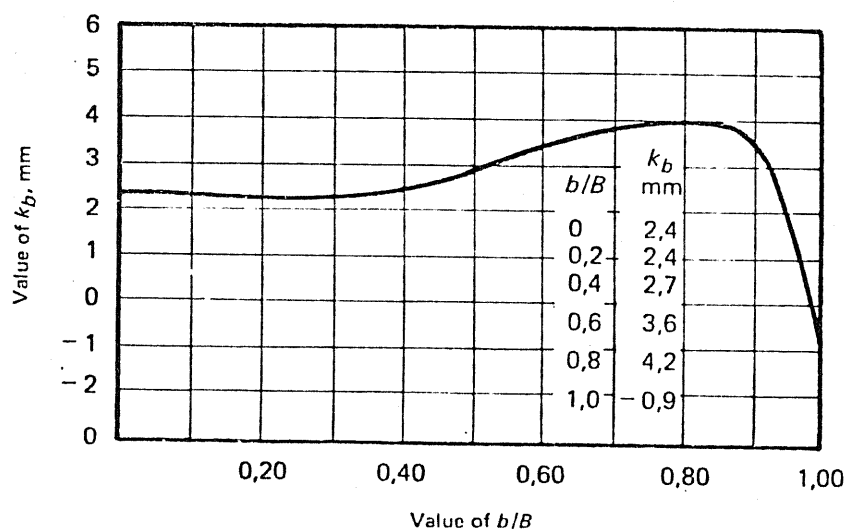
$$\begin{aligned} h/p &\leq 2,0 \\ h &\geq 0,03 \text{ m} \\ b &\geq 0,15 \text{ m} \\ p &> 0,10 \text{ m} \\ (B-p)/2 &> 0,10 \text{ m} \end{aligned}$$



Kuva 10. Suorakulmion muotoinen mittapato (5)



Kuva 11. Suorakulmion muotoisen mittapadon purkauserroin  $C_e$  (5)



Kuva 12. Suureen  $k_b$  (yhtälö 14) riippuvuus suhteesta  $b/B$  (5)

## 2.222 Kolmion muotoinen mittapato

Kolmikulmaisen mittapadon eli V-padon (kuva 13) purkausyhtälö on

$$Q = \frac{8}{15} C_e \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} h_e^{5/2} \quad (16)$$

jossa  $Q$  = virtaama ( $m^3/s$ )  
 $C_e$  = purkauserroin  
 $\alpha$  = aukon avauskulma (asteissa tai radiaaneissa)  
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $m/s^2$ )  
 $h_e$  = tehollinen vedenpinnan korkeus (m)

Lämpötila-alueella 5 - 30 °C purkautumiskerroin on kolmen muuttujan funktio:

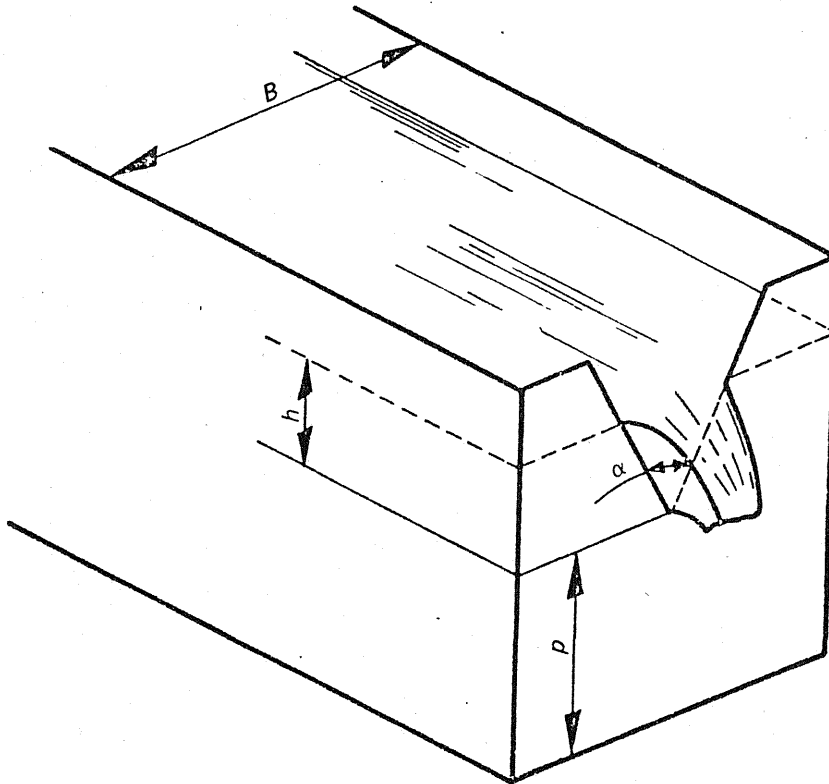
$$C_e = f \left( \frac{h}{p}, \frac{p}{B}, \alpha \right) \quad (17)$$

jossa  $h$  = mitattu vedenpinnan korkeus (m)  
 $p$  = aukon alareunan ja kanavan pohjan välinen etäisyys (m)  
 $B$  = yläkanavan leveys (m)

Tehollinen pinnankorkeus saadaan yhtälöstä

$$h_e = h + k_h \quad (18)$$

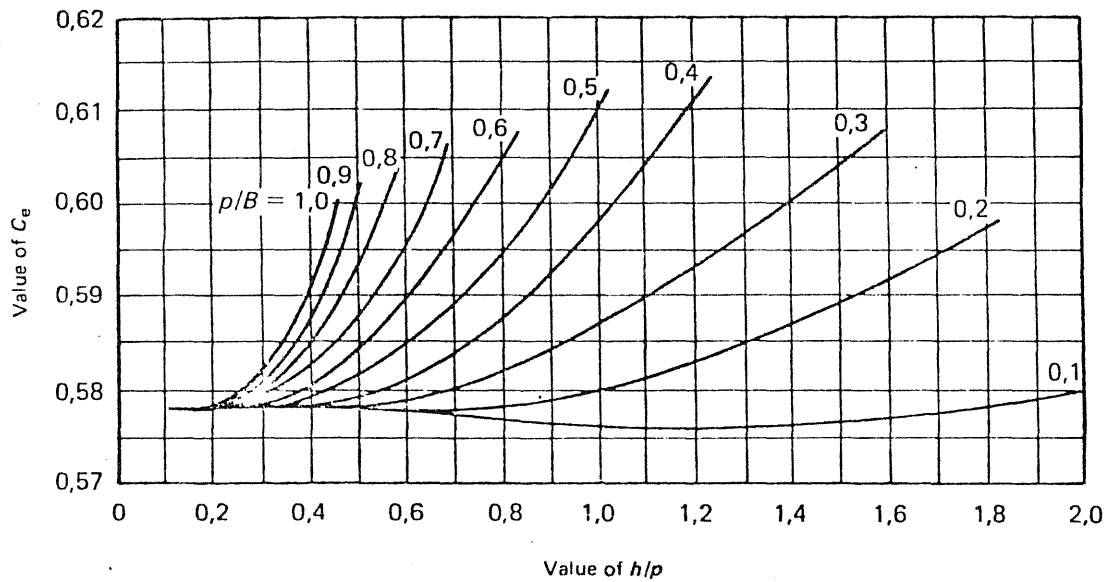
jossa  $k_h$  on kokeellisesti määritetty suure, joka kompensoi pintajännityksen ja viskoositeetin vaikutuksen.



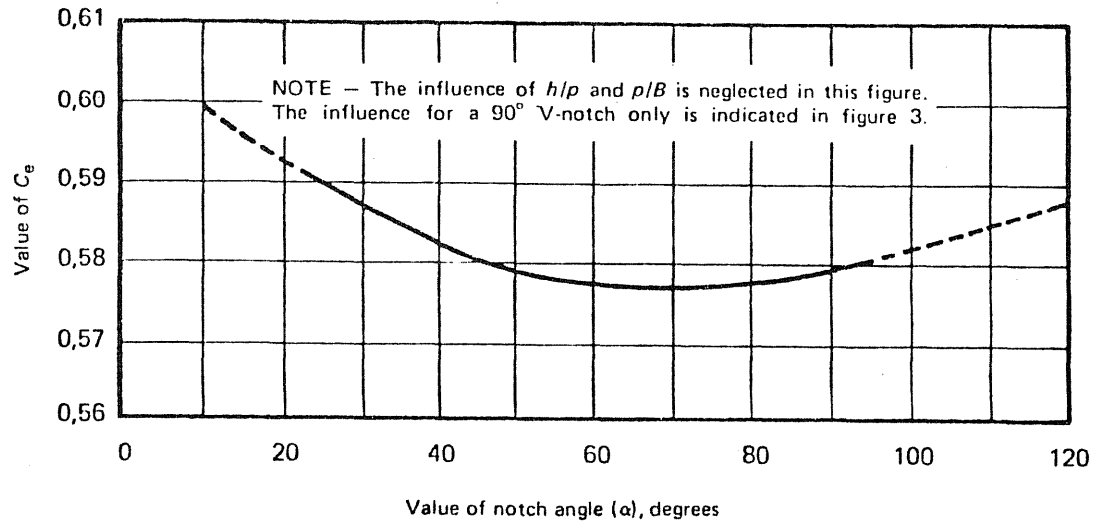
Kuva 13. Kolmion muotoinen mittapato eli V-pato (5)

Jos aukon avauskulma on  $90^\circ$ , niin  $k_h$  on 0,85 mm ja  $C_e$ :n arvot saadaan kuvasta 14. Muussa tapauksessa  $C_e$ :n ja  $k_h$ :n arvot saadaan kuvista 15 ja 16.

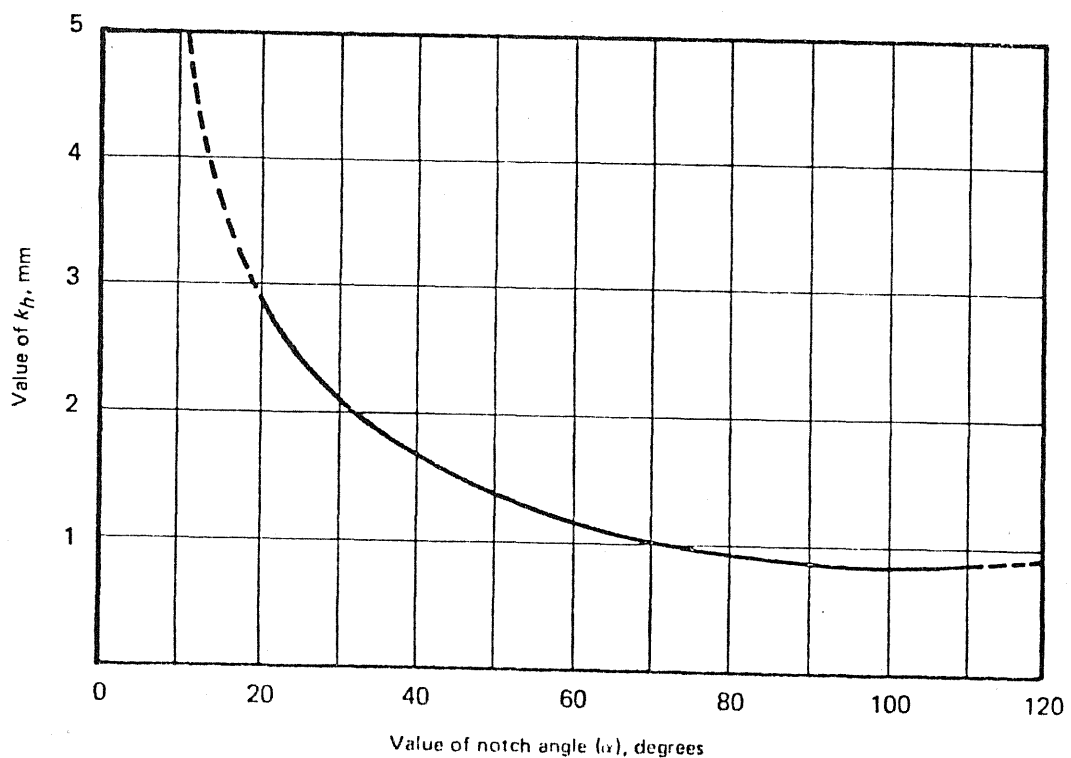




Kuva 14. 90-asteisen V-padon purkautumiskerroin (5)



Kuva 15. V-padon purkautumiskerroin (5)



Kuva 16. Suureen  $k_h$  (yhtälö 18) riippuvuus aukon avauskulmasta (5)

Lähteessä 5 on esitetty myös valmiiksi laskettuja taulukoita, joista saadaan purkautuva vesimäärä, kun tunnetaan veden pinnan korkeus. Näitä taulukoita on kolmelle eri avauskulmalle:

$$90^{\circ} \quad \left( \tan \frac{\alpha}{2} = 1 \right)$$

$$53^{\circ} 8' \quad \left( \tan \frac{\alpha}{2} = 0,5 \right)$$

$$28^{\circ} 4' \quad \left( \tan \frac{\alpha}{2} = 0,25 \right)$$

Rajaehdot:

$$0,05 \text{ m} \leq h \leq 0,38 \text{ m}$$

$$p > 0,45 \text{ m}$$

$$h/p \leq 0,4$$

$$B > 1,2 \text{ m}$$

$$h/B \leq 0,2$$

## 2.223 Vapaa putous

Vapaassa putousmittauksessa (kuva 17) virtaama saadaan yhtälöstä

$$Q = C b \sqrt{g} h_e^{3/2}$$

jossa  $Q$  = virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$C$  = purkauserroin

$b$  = kanavan leveys (m)

$g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$h_e$  = mitattu vedensyvyys putouksen kohdalla (m)

Purkauserroin  $C = 1,66$ , kun ylisyöksy on rajoitettu kanavan leveyiseksi eli kanavan seinät jatkuvat purkauskohdan jälkeen.

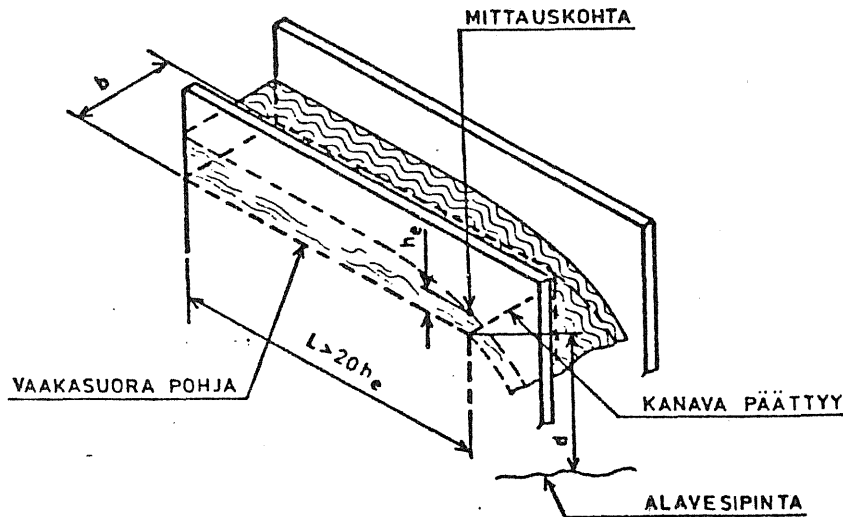
Purkauserroin  $C = 1,69$ , kun ylisyöksy on vapaa eli kanavan seinät päättyvät purkauskohtaan.

Rajaehdot:

$d > h_e$  ( $d$  = putous eli kanavan pohjan etäisyys alaveden pinnasta)

$b > 0,3 \text{ m}$

$h_e > 0,04 \text{ m}$

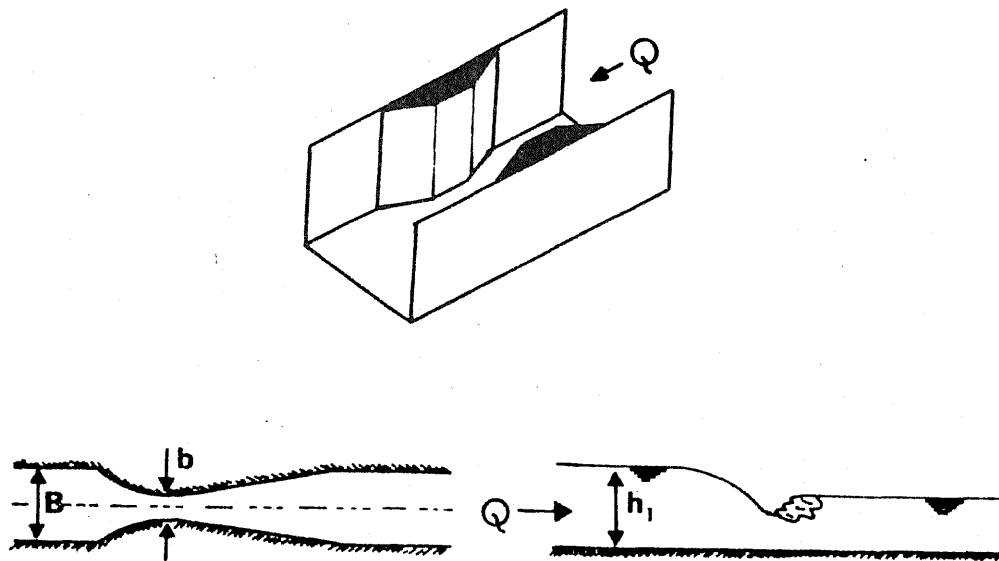


Kuva 17. Vapaa putous (7)

### 2.3 SEISOVAN AALLON VENTURIKANAVAT

Venturikanava on virtauksen suuntainen rakenne, jossa on kavennettu kohta (kuva 18). Kavennetussa kohdassa virtausnopeus kasvaa ja virtaus muuttuu verkkavirtauksesta kiitovirtaukseksi. Kavennuksessa vedellä on kriittinen nopeus (ks. kohta 1.7). Tällöin nesteen virtaama riippuu ainoastaan tulokanavan pinnankorkeudesta ja kavennetussa kohdassa on havaittavissa vapaa virtaus.

Kun kanava laajenee supistuskohdan jälkeen, nopeus pienenee ja kiitovirtaus vaihtuu verkkavirtaukseksi. Muodostuu vesikynnys (ks. kohta 1.7) ja sen taakse seisova aalto, josta tämän mittatavan nimi on saanut alkunsa.



Kuva 18. Seisovan aallon venturikanava (8)

## 2.31 Kanavan rakentaminen

Seuraavassa esitetään venturikanavan yleisiä rajaehdoja ja kanavan rakentamisessa huomioon otettavia seikkoja.

### 2.311 Rakennuspaikan valinta ja hydrauliset näkökohdat

- Tulokanavan virtauksen nopeusjakautuman pitää olla mahdollisimman normaali koko poikkileikkausalalla.
- Virtauksen pitää olla häiriövapaata ja tasaista verkkasvirtausta matkalla  $20 B$  ( $B$  = kanavan leveys).
- Keskimääräinen virtausnopeus

$$v < \sqrt{\frac{g A}{B}}$$

missä  $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys ( $\text{m/s}^2$ )  
 $A$  = tulokanavan märkä poikkileikkauspinta-ala ( $\text{m}^2$ )  
 $B$  = kanavan leveys (m)

- Venturikanavassa pitää alapuolisen kanavan nestepinnan olla kaikilla virtaaman arvoilla vähintään 20 % alempana tulokanavan nestepintaa.
- Jyrkän kanavanosan välttäminen, suurin sallittu kaltevuus tulokanavassa 1:100 matkalla 10 B
- Mittausrakenteista johtuva vedenpinnan nousu saattaa aiheuttaa tulvimista yläkanavan puolella.
- Tulokanavan pohjan ja seinämien suoruus ja sileys

## 2.312 Rakennustekniset näkökohdat

- Kanavan ohitusmahdollisuus
- Mahdolliset tulvajärjestelyt
- Suoran osuuden pituus  $\geq 10 B$
- Venturiosan nielun leveys  $b \geq 0,5 B$
- Mikäli neste virtaa tulokanavaan mutkan kautta tai pienemmästä putkesta, on suoran osuutta lisättävä.
- Venturiosan keskiviivan pitää olla samassa linjassa tulokanavan keskilinjan kanssa.
- Venturiosan pohjan pitää olla täysin tasainen, sivujen täysin pystysuorat ja yhdensuuntaiset sekä suorassa kulmassa pohjan suhteen.
- Kapeimman osan pituus ei saa olla lyhyempi kuin  $1\frac{1}{2} h_{1\max}$  ( $h_1$  = yläveden korkeus).
- Venturin nielu on rakennettava erittäin sileäksi tai päällystettävä sileällä haponkestävällä teräksellä.
- Venturin toleranssivaatimukset:
  - Nielun pohjan leveys 0,002 m
  - Nielun tasopintojen poikkeama tasosta 0,002 m
  - Nielun pystysuorien seinämien väli 0,002 m
  - Nielun pohjan vaakitus 1:1000
  - Nielun vinojen pintojen vinous 1 % (ei koske suora-kaideventuria)
  - Nielun pituus 0,005 m
  - Nielun tulosupistuksen poikkeama sylinteripinnasta 0,002 m
  - Nielun tulosupistuksen tasopintojen poikkeama tasosta 0,002 m

- Nielun lähtölaajennuksen tasopintojen poikkeama tasosta 0,005 m
- Muilla pystysuorilla tai kaltevilla pinnoilla poikkeama mitoituksesta 1 %
- Vaaditun tulokanavan pohjan poikkeama tasosta 0,002 m
- Mikäli käytetään erillistä mittaускаivoa, niin sen ja kanavan välisen yhdysputken halkaisijan tai yhdyskanavan leveyden pitää olla pienempi kuin  $0,1 \sqrt{A_{\min}}$ , missä  $A_{\min}$  on virtauksen poikkeileikkausala minimivirtauksella pinnankorkeuden mittauskohdassa. Toisaalta yhdysputki ei saa olla liian pieni, jotta kammion pinnan korkeus seuraisi tulokanavan pintaa ilman mainittavaa viivettä.

## 2.32 Suorakaidenieluinen venturi

Suorakaidenieluinen venturi (kuva 19) on tavallisin venturityyppi sen rakentamisen helppouden vuoksi. Sitä voidaan soveltaa useimpiin asennuksiin, ellei erityisesti pienempien energiahäviöiden vuoksi haluta muuta rakennetta.

Suorakaideventurit voidaan jakaa seuraaviin tyyppeihin:

1. Venturi, jossa vain sivut on kavennettu
2. Venturi, jossa on ainoastaan pohjakynnys
3. Venturi, jossa on sekä seinäkavennus että pohjakynnys

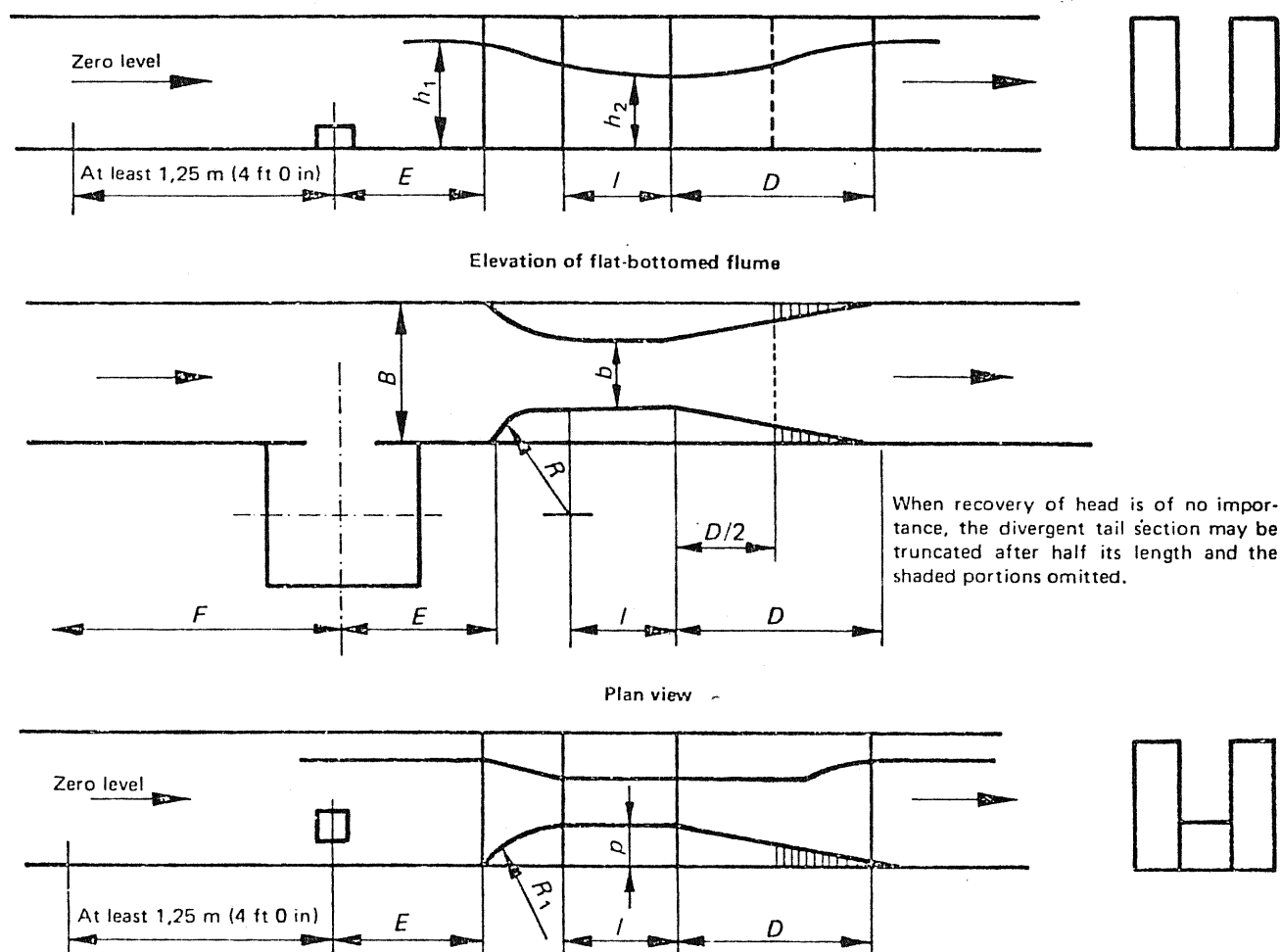
Venturityypin valintaan vaikuttavat mm. seuraavat seikat:

- Alakanavan puoleiset hydrauliset olosuhteet eri virtaamilla
- Maksimi virtausnopeus
- Sallittu virtaushäviö
- Suhteen  $h/b$  rajoitus

Suorakulmaisen, seisovan aallon venturikanavan purkausyhtälö on

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} C_v C_e \sqrt{g} b h^{3/2} \quad (20)$$

jossa  $Q$  = virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $C_v$  = nopeuskerroin  
 $C_e$  = purkauserroin  
 $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyyys ( $\text{m}/\text{s}^2$ )  
 $b$  = nielun leveys (m)  
 $h$  = mitattu yläveden korkeus (m)



Kuva 19. Suorakaidenieluinen venturi (5)

$b$  = nielun leveys  
 $B$  = kanavan leveys  
 $h_{\max}$  = tulokanavan nestepinnan suurin korkeus  
 $E = 3-4 h_{\max}$   
 $F \geq 10 B$   
 $p$  = pohjakynnyksen korkeus  
 $l$  = nielun pituus  $\geq 1,5 h_{\max}$   
 $D = 3 (B-b)$   
 $R = 2 (B-b)$   
 $R_1 = 4 p$

$C_e$  saadaan yhtälöstä

$$C_e = \left( \frac{b}{b + 0,004 l} \right)^{3/2} \left( \frac{h - 0,003 l}{h} \right)^{3/2} \quad (21)$$

jossa  $l$  = nielun pituus (m)

$C_v$  voidaan määrittää seuraavan yhtälön avulla:

$$\left( \frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{b}{B} \right)^2 C_v^2 - C_v^{2/3} + 1 = 0 \quad (22)$$

Kertoimet  $C_e$  ja  $C_v$  saadaan myös taulukoista 1 ja 2.

Taulukko 1. Suorakulmaisen venturikanavan purkauskertoimen  $C_e$  (5)

$\frac{l}{b}$	$\frac{h}{l}$													
	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
0,2	0,992 4	0,991 9	0,991 3	0,990 6	0,989 8	0,988 8	0,987 6	0,986 0	0,983 9	0,980 9	0,976 4	0,969 0	0,954 2	0,910 3
0,4	0,991 2	0,990 7	0,990 1	0,989 4	0,988 6	0,987 6	0,986 4	0,984 8	0,982 7	0,979 7	0,975 2	0,967 8	0,953 0	0,909 2
0,6	0,990 0	0,989 5	0,988 9	0,988 3	0,987 5	0,986 5	0,985 2	0,983 6	0,981 5	0,978 5	0,974 1	0,966 7	0,951 9	0,908 1
0,8	0,988 8	0,988 3	0,987 8	0,987 1	0,986 3	0,985 3	0,984 0	0,982 5	0,980 3	0,977 4	0,972 9	0,965 5	0,950 8	0,907 0
1,0	0,987 6	0,987 2	0,986 6	0,985 9	0,985 1	0,984 1	0,982 9	0,981 3	0,979 2	0,976 2	0,971 7	0,964 4	0,949 6	0,905 9
1,2	0,986 5	0,986 0	0,985 4	0,984 7	0,983 9	0,982 9	0,981 7	0,980 1	0,978 0	0,975 0	0,970 6	0,963 2	0,948 5	0,904 8
1,4	0,985 3	0,984 8	0,984 2	0,983 5	0,982 7	0,981 8	0,980 5	0,978 9	0,976 8	0,973 9	0,969 4	0,962 0	0,947 4	0,903 8
1,6	0,984 1	0,983 6	0,983 1	0,982 4	0,981 6	0,980 6	0,979 3	0,977 8	0,975 7	0,972 7	0,968 3	0,960 9	0,946 2	0,902 7
1,8	0,982 9	0,982 4	0,981 9	0,981 2	0,980 4	0,979 4	0,978 2	0,976 6	0,974 5	0,971 5	0,967 1	0,959 8	0,945 1	0,901 6
2,0	0,981 8	0,981 3	0,980 7	0,980 0	0,979 2	0,978 2	0,977 0	0,975 4	0,973 3	0,970 4	0,966 0	0,958 6	0,944 0	0,900 5
2,2	0,980 6	0,980 1	0,979 5	0,978 9	0,978 1	0,977 1	0,975 8	0,974 3	0,972 2	0,969 2	0,964 8	0,957 5	0,942 9	0,899 5
2,4	0,979 4	0,978 7	0,978 4	0,977 7	0,976 9	0,975 9	0,974 7	0,973 1	0,971 0	0,968 1	0,963 7	0,956 3	0,941 7	0,898 4
2,6	0,978 3	0,977 8	0,977 2	0,976 5	0,975 7	0,974 8	0,973 5	0,972 0	0,969 9	0,966 9	0,962 5	0,955 2	0,940 6	0,897 3
2,8	0,977 1	0,976 6	0,976 1	0,975 4	0,974 6	0,973 6	0,972 4	0,970 8	0,968 7	0,965 8	0,961 4	0,954 1	0,939 5	0,896 3
3,0	0,975 9	0,975 5	0,974 9	0,974 2	0,973 4	0,972 4	0,971 2	0,969 6	0,967 6	0,964 6	0,960 2	0,952 9	0,938 4	0,895 2
3,2	0,974 8	0,974 3	0,973 3	0,973 1	0,972 3	0,971 3	0,970 1	0,968 5	0,966 4	0,963 5	0,959 1	0,951 8	0,937 3	0,894 1
3,4	0,973 6	0,973 1	0,972 6	0,971 9	0,971 1	0,970 1	0,968 9	0,967 3	0,965 3	0,962 3	0,958 0	0,950 7	0,936 2	0,893 1
3,6	0,972 5	0,972 0	0,971 4	0,970 8	0,970 0	0,969 0	0,967 8	0,966 2	0,964 1	0,961 2	0,956 8	0,949 5	0,935 0	0,892 0
3,8	0,971 3	0,970 8	0,970 3	0,969 6	0,968 8	0,967 8	0,966 6	0,965 1	0,963 0	0,960 1	0,955 7	0,948 4	0,933 9	0,890 9
4,0	0,970 2	0,969 7	0,969 1	0,968 5	0,967 7	0,966 7	0,965 5	0,963 9	0,961 8	0,958 9	0,954 6	0,947 3	0,932 8	0,889 9
4,2	0,969 0	0,968 5	0,968 0	0,967 3	0,966 5	0,965 6	0,964 3	0,962 8	0,960 7	0,957 8	0,953 4	0,946 2	0,931 7	0,888 8
4,4	0,967 9	0,967 4	0,966 8	0,966 2	0,965 4	0,964 4	0,963 2	0,961 6	0,959 6	0,956 6	0,952 3	0,945 1	0,930 6	0,887 8
4,6	0,966 7	0,966 3	0,965 7	0,965 0	0,964 2	0,963 3	0,962 1	0,960 5	0,958 4	0,955 5	0,951 2	0,943 9	0,929 5	0,886 7
4,8	0,965 6	0,965 1	0,964 6	0,963 9	0,963 1	0,962 1	0,960 9	0,959 4	0,957 3	0,954 4	0,950 0	0,942 8	0,928 4	0,885 7
5,0	0,964 5	0,964 0	0,963 4	0,962 8	0,962 0	0,961 0	0,959 8	0,958 3	0,956 2	0,953 3	0,949 0	0,941 8	0,927 4	0,884 7



Taulukko 2. Suorakulmaisen venturikanavan nopeuskerroin  $C_v$  (5)

$\frac{b}{B}$	$C_v$	$\frac{b}{B}$	$C_v$
0,10	1,002 2	0,44	1,047 6
0,15	1,005 1	0,46	1,052 6
0,20	1,009 1	0,48	1,057 9
0,22	1,011 0	0,50	1,063 5
0,24	1,013 2	0,52	1,069 5
0,26	1,015 5	0,54	1,076 0
0,28	1,018 1	0,56	1,082 9
0,30	1,020 9	0,58	1,090 1
0,32	1,024 0	0,60	1,098 0
0,34	1,027 2	0,62	1,106 5
0,36	1,030 8	0,64	1,115 4
0,38	1,034 6	0,66	1,125 3
0,40	1,030 6	0,68	1,135 4
0,42	1,043 0	0,70	1,146 9

Suorakulmaisessa venturikanavassa, jossa on kavennettu nielu ja pohjakynnys, käytetään yhtälöä

$$\left(\frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{b}{B}\right)^2 \left(\frac{h}{h+p}\right) C_v^2 - C_v^{2/3} + 1 = 0 \quad (23)$$

jossa  $p$  = pohjakynnyksen korkeus (m)

$C_v$ :n arvot saadaan taulukosta 3.

Taulukko 3. Suorakulmaisen, pohjakynnyksellä varustetun venturikanavan nopeuskerroin  $C_v$  (5)

$\frac{b}{B}$	$\frac{h}{h+p}$								
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
0,10	1,002 2	1,001 8	1,001 4	1,001 1	1,000 8	1,000 6	1,000 4	1,000 2	1,000 1
0,15	1,005 1	1,004 1	1,003 2	1,002 5	1,001 8	1,001 3	1,000 8	1,000 5	1,000 2
0,20	1,009 1	1,007 3	1,005 8	1,004 4	1,003 2	1,002 2	1,001 4	1,000 8	1,000 4
0,25	1,014 3	1,011 5	1,009 1	1,006 9	1,005 1	1,005 5	1,002 2	1,001 3	1,000 6
0,30	1,020 9	1,016 8	1,013 2	1,010 0	1,007 3	1,005 1	1,003 2	1,001 8	1,000 8
0,35	1,029 0	1,032 2	1,018 1	1,013 7	1,010 0	1,006 9	1,004 4	1,002 5	1,001 1
0,40	1,038 6	1,030 8	1,024 0	1,018 1	1,013 2	1,009 1	1,005 8	1,003 2	1,001 4
0,45	1,050 0	1,039 7	1,030 8	1,023 2	1,016 8	1,011 5	1,007 3	1,004 1	1,001 8
0,50	1,063 5	1,050 0	1,038 6	1,029 0	1,020 9	1,014 3	1,009 1	1,005 1	1,002 2
0,55	1,079 3	1,062 0	1,047 6	1,035 7	1,025 5	1,017 5	1,011 0	1,006 1	1,002 7
0,60	1,098 0	1,076 0	1,057 9	1,042 9	1,030 8	1,020 9	1,013 2	1,007 3	1,003 2
0,65	1,120 3	1,092 1	1,069 5	1,050 3	1,036 7	1,024 8	1,015 6	1,008 6	1,003 8
0,70	1,146 9	1,110 8	1,082 9	1,060 6	1,042 9	1,029 0	1,018 1	1,010 0	1,004 4
0,75		1,133 0	1,098 0	1,071 1	1,050 0	1,033 6	1,020 9	1,011 5	1,005 1
0,80			1,115 5	1,082 9	1,057 9	1,038 6	1,024 0	1,013 2	1,005 8
0,85			1,135 8	1,096 0	1,066 4	1,044 1	1,027 2	1,014 9	1,006 5
0,90				1,110 8	1,076 0	1,050 0	1,030 8	1,016 8	1,007 3
0,95				1,127 9	1,086 4	1,056 4	1,034 6	1,018 8	1,008 2
1,00				1,146 9	1,098 0	1,063 5	1,038 6	1,020 9	1,009 1

Rajaehdot:

$$b \geq 0,09 \text{ m}$$

$$\left(\frac{b}{B}\right) \left(\frac{h}{h+p}\right) \leq 0,7$$

$$\frac{h}{b} \leq 3$$

$$0,05 \text{ m} \leq h \leq 1,8 \text{ m}$$

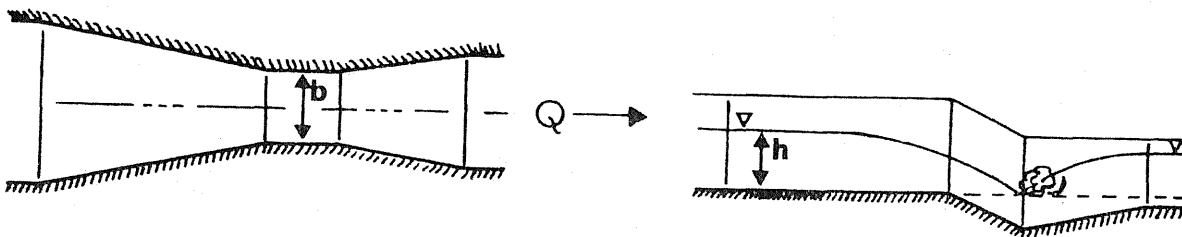
$$p \leq 0,9 \text{ m, jos } h/p < 0,3 \text{ (jos pohjakynnys)}$$

### 2.33 M u i t a v e n t u r i t y p p e j ä

Suorakaidenieluisen venturin ohella voidaan käyttää myös venturia, jossa nielu on puolisuunnikkaan tai U:n muotoinen. Näiden mitoitusta on käsitelty mm. lähteessä 37.

Parshall-kanaali on venturikanavan muunnos, jossa ei ole kaarevia osia. Tyypillistä sille on myös porrasmainen pohjaprofiili (kuva 20).

Parshall-kanaalin mitoitusta on käsitelty mm. lähteessä 9.



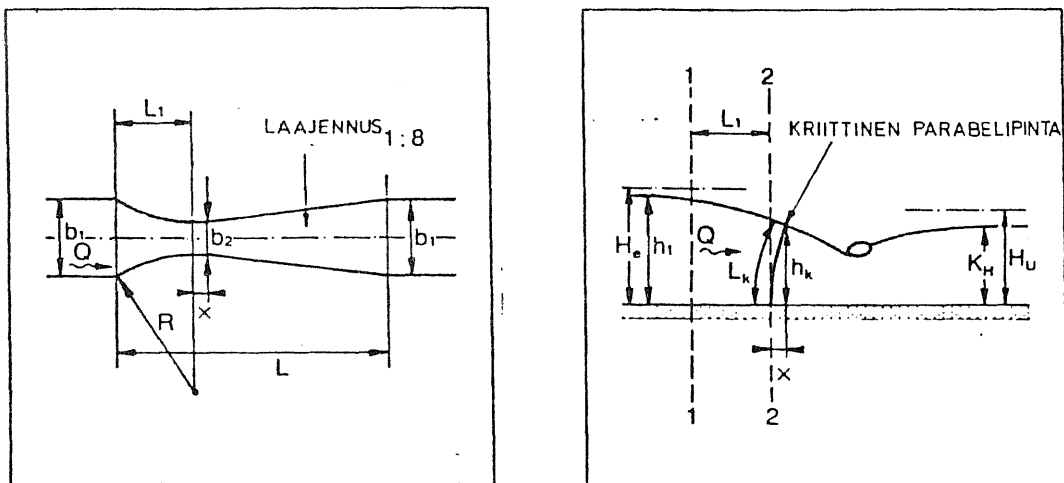
Kuva 20. Parshall-venturi (8)

Balloffet-venturi on kanaaliin asennettu yksinkertainen sivukuristus (kuva 21), joka muodoltaan vastaa putkimittauksessa käytettyä mittasuulaketta (kohta 3.5).



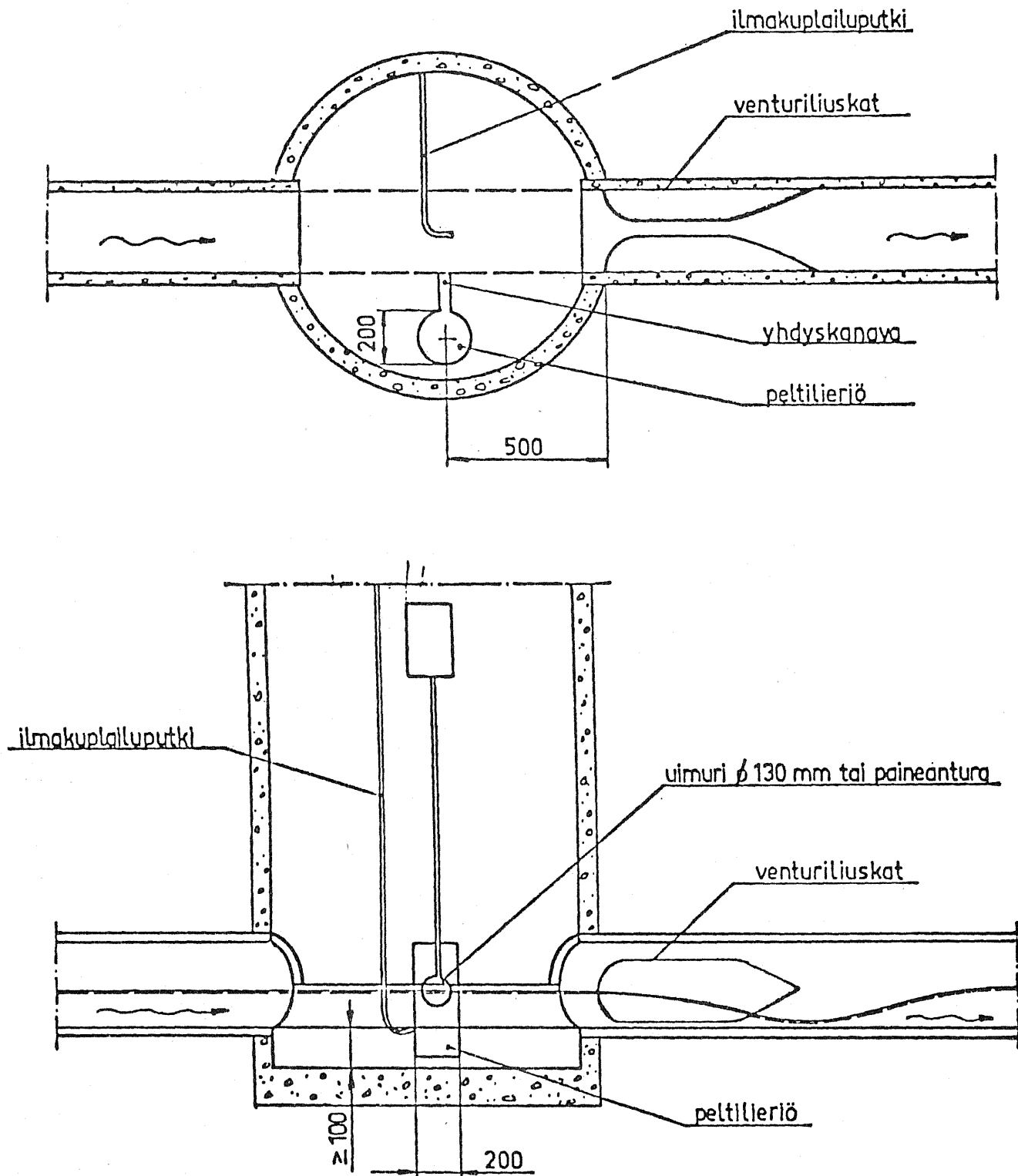
Kuva 21. Balloffet-venturi (8)

Khafagi-venturilla (kuva 22) saavutetaan 4 % suurempi virtaama normaalisti mitoitettuihin venturiin nähden samalla tulokanavan nestepinnan korkeudella. Virtaushäviöiden pienentämiseksi on tulosupistus lyhyt.

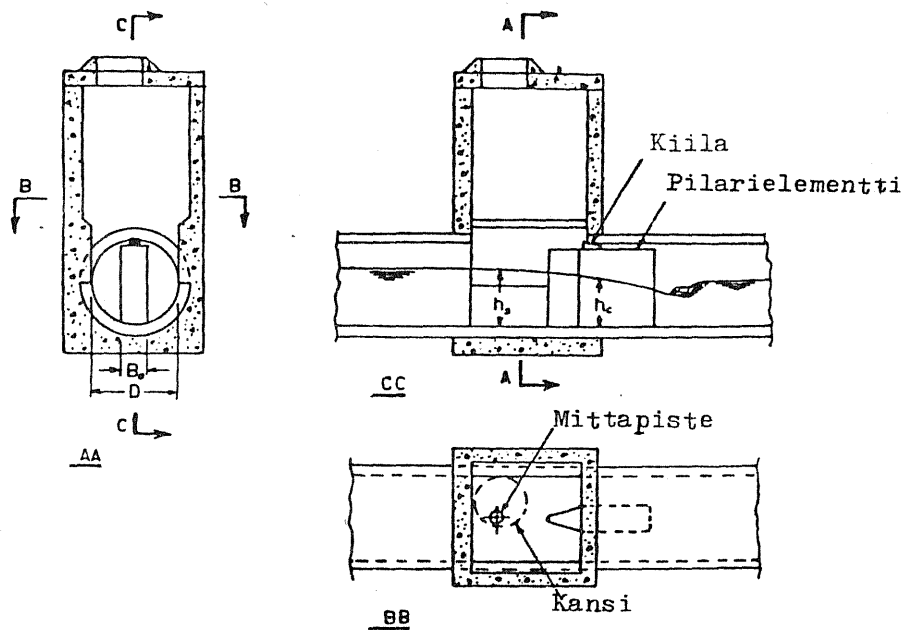


Kuva 22. Khafagi-venturi (7)

Avokanavamittausmenetelmiä voidaan soveltaa myös suureen putkeen, jos se on vain osittain veden täyttämä. Kuvassa 23 on esitetty Palmer-Bowlus-venturin muunnos, jossa venturiliuskat on sijoitettu putkeen tarkastuskaivon kautta. Kuvassa 24 on esitetty pilari-venturi, jossa putken keskelle on asennettu pilarielementti.



Kuva 23. Putkistoon asennettu avokanavaventuri (7)



Kuva 24.

Pilariventuri (12)

## 2.4 PINNANKORKEUDEN MITTAUS

Edellä todettiin (kohta 2.1), että käytännössä virtaamamittaus avokanavassa tapahtuu määrittämällä veden pinnankorkeus ennen kanavaan rakennettua patoa tai kuristusta, koska kanavan virtaama riippuu tästä pinnankorkeudesta. Seuraavassa esitetään tärkeimmät menetelmät pinnankorkeuden määrittämiseksi.

### 2.41 Yleisiä näkökohtia

- Yleensä suositellaan, että mittauspaikka on etäisyydellä 3-4  $h_{\max}$  mittapadosta tai venturin supistuksen alkamiskohdasta ( $h_{\max}$  on suurin mitattava pinnankorkeus).
- On varottava, että mittauslaite ei aiheuta häiriöitä tulokanavan virtausolosuhteisiin.
- Tulokanavan pohjan on oltava vaakasuora ja tasainen matkalla, joka on 1,2 m mittauskohdasta tulovirtaamaan päin.
- Mittaus voidaan suorittaa kanavassa tai erillisessä mittauskammiossa, joka on putken tai aukon kautta yhteydessä tulokanavaan (ks. kohta 2.312).

- Tarkkaa nollakohdan tarkistamista varten tulisi jo kanavan rakennusvaiheessa merkitä tulokanavaan tai mittauskaivoon nollakohta pysyvästi. Nollapisteen tarkistaminen virtauksen loppumisen mukaan on pintajännityksestä johtuen epätarkka.

#### 2.42 M e k a a n i n e n m i t t a u s

Pinnankorkeus voidaan mitata yksinkertaisesti veden pinnalla kel-  
luvalla uimurilla, jonka asema suoraan ilmaisee pinnankorkeuden.

#### 2.43 P n e u m a a t t i n e n m i t t a u s

Kuplailuputki on ohut putki (halkaisija 8-14 mm), joka asennetaan kanaaliin pystysuoraan. Putken läpi johdetaan ilmavirta, 1-2 kuplaa sekunnissa. Tällöin putkessa vallitseva paine on sama kuin putken suun korkeudella oleva hydrostaattinen paine, joka riippuu veden pinnankorkeudesta.

#### 2.44 P a i n e a n t u r i (punnituskenno)

Punnituskenno muodostuu periaatteessa kahdesta levystä, joiden välissä on taivutussauva. Kun kenno upotetaan veteen, niin veden hydrostaattinen paine aiheuttaa levyjen lähentymisen ja sau-  
van taipuman, joka mitataan sähköisesti vastusvenymäliuskoilla. Sauvan taipuma riippuu hydrostaattisesta paineesta eli siten pin-  
nan korkeudesta.

#### 2.45 S ä h k ö i n e n m i t t a u s

Kapasitiivisen mittarin mitta-anturina on kaksi eristettyä yh-  
densuuntaista levyä, jotka on asennettu pystysuoraan joko itse kanaaliin tai mittakammioon siten, että levyjen alareunat ovat veden pinnan minimitasossa. Levyjen muodostaman kondensaattorin kapasitanssi on riippuvainen pinnankorkeudesta, koska ilmalla ja vedellä on erilainen dielektrisyysvakio.

## 2.46 K a i k u l u o t a u s

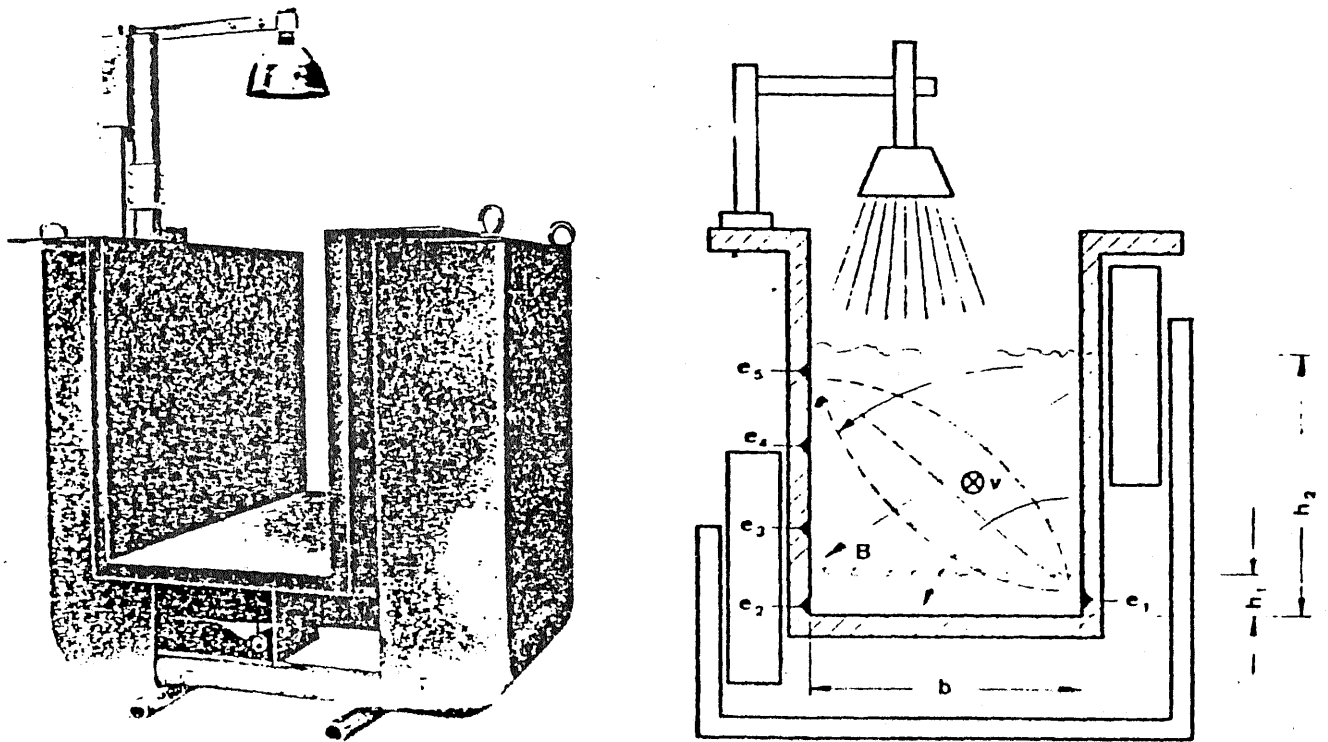
Kaikuluotauksessa lähetetään veden yläpuolella sijaitsevasta anturista äänipulssi ja vastaanotetaan veden pinnasta heijastunut kaikuäänipulssi samalla anturilla. Lähetetyn ja vastaanotetun pulssin aikaero riippuu anturin ja vedenpinnan etäisyydestä eli siten myös veden pinnankorkeudesta.

Kaikuluotauksessa voidaan käyttää sekä äänitaajuusmittareita että ultraäänimittareita.

## 2.5 MUITA AVOKANAVAMITTAUSMENETELMIÄ

## 2.51 M a g n e e t t i n e n m i t t a r i

Magneettista mittaria (kuva 25) käytettäessä kanavaan ei tarvitse asentaa kavennuksia. Virtausnopeuden mittausta perustuu Faradayn induktiolakiin (ks. kohta 3.1).



Kuva 25. Magneettinen virtaamamittari avokanavaa varten (7)

## 2.52 Siivikkomittaus

Siivikkomittauksessa asennetaan kanaaliin mahdollisimman jyrkkä-nousuinen potkuri. Potkurin pyörimisnopeus, joka on verrannol- linen veden virtausnopeuteen potkurin akselin suunnassa, mita- taan ja rekisteröidään.

Siivikkomittaukseen voidaan käyttää jatkuvaan virtaaman mittauk- seen, jolloin siivikko asennetaan kiinteästi paikoilleen. Ka- libroinnin avulla selvitetään virtaaman riippuvuus virtausnopeu- desta eli  $Q = f(v)$ .

Siivikkomittaus soveltuu vain puhtaille vesille, joissa ei ole paljon kiintoainetta.

## 2.6 MITTAUSTARKKUUS JA VIRHEET

Virheellä tarkoitetaan eroa todellisen virtaaman ja purkausyhtä- löstä lasketun virtaaman välillä.

Tarkastellaan esimerkkinä venturikanavan yhtälöä

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} C_v C_e \sqrt{g} b h^{3/2}$$

Mikäli tunnetaan koko mittauspiirin osien virheet, voidaan vir- taaman mittauksen todennäköinen kokonaisvirhe arvioida ja sen pe- rusteella päätellä, voidaanko virtaaman mittaus suorittaa riittä- vällä tarkkuudella kyseessä olevaa tarkoitusta varten. Kokonais- virhe saadaan kaavasta

$$X = \pm (X_C^2 + \gamma^2 X_b^2 + \varnothing^2 X_h^2 + \psi^2 X_m^2)^{1/2} \quad (23)$$

jossa  $X_C$  = kertoimien virhe =  $\pm [1 + 20 (C_v - C_e)] \%$

$X_b$  = nielun leveyden (b) virhe-%

$X_h$  = pinnankorkeuden (h) virhe-%

$X_m$  = rakenteiden muodosta johtuva virhe-%



Kertoimet  $\gamma$ ,  $\emptyset$  ja  $\psi$  riippuvat kanavan mallista ja muodosta. Suorakaidekanavalle  $\gamma = 1$ ,  $\emptyset = 1,5$  ja  $\psi = 0$  edellyttäen, että seinät ovat todella pystysuorat.

Seuraavassa on esitetty erityyppisillä mittapadoilla ja kanavilla saavutettavat tarkkuudet. Pienemmät arvot saavutetaan mittalaitteissa, jotka ovat erittäin huolellisesti valmistettuja lähinnä laboratorio- ja tutkimuslaitoksissa suoritettavia mittauksia varten.

- Suorakulmaiset, ohutlevyiset ylisyöksypadot 1-4 %
- Kolmionmuotoiset ylisyöksypadot 1-2 %  
(aukko 20-100 °)
- Seisovan aallon venturit 2-5 %
- Vapaa putous 5-10%

## 2.7 KÄYTTÖKOKEMUKSIA

### 2.71 Avokanavavirtausmittarien julkisen testaus

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) suoritti avokanavavirtausmittarien julkisen testauksen vuosina 1977-78. Laboratorio-mittaukset tehtiin VTT:n kemian ja teletekniikan laboratorioissa sekä kenttäkokeet Suomenojan tutkimusasemalla.

Testaukseen osallistui 9 avokanavavirtausmittaria, joista 4 oli kotimaista ja 5 ulkomaista valmistetta. Mittausperiaatteeltaan mittarit jakautuivat seuraavasti: kuplailuputki 3 kpl, paineanturi (punnituskenno) 1 kpl, kaikuluotain 4 kpl ja uimuri 1 kpl. Tarkoituksena oli selvittää laitteiden soveltuvuutta välppäämättömän jäteveden virtaamamittaukseen. Tulokset on julkaistu lähteissä 10 ja 11.

Testauksen yhteenvedossa on tarkasteltu kullekin laitetyypille ominaisia piirteitä, jotka vaikuttavat laitteiden asennukseen, toimintaan jätevedessä, vikaantumisherkkyyteen ja huollon tarpeeseen.

## Kuplailuputki:

- Mittausperiaate on yksinkertainen ja mittari suhteellisen halpa.
- Kuplailuputki on asennettava erilliseen mittauskammioon.
- Kuplailuputkeen mahdollisesti tarttuneet rätit on poistettava.
- Mikäli kuplailuputken ilmapumppu on samassa tilassa laitteen elektronisten osien kanssa, saattaa ilmapumpun kotelon sisään imemästä ilmasta tiivistynyt vesi aiheuttaa hapettumia.
- Kuplailuputken ilmapumppu vaurioituu kondensoituvan ja jäätyvän veden vaikutuksesta helposti lämpötilan vaihdellessa nollan molemmin puolin.
- Kuplailuputken ilmaletkuihin tiivistynyt vesi aiheuttaa tukkeumia jäätyessään.
- Laite vaatii paljon huoltoa.

## Uimuri:

- Voidaan asentaa kanavan päälle.
- Vie runsaasti asennustilaa kanavan päällä.
- Soveltuu huonosti välppäämättömän jäteveden virtaamamittaukseen, koska rätit yms. tarttuvat uimuriin. Uimuri on puhdistettava räteistä päivittäin.
- Laitteen mekaaninen välitys saattaa jäätyä pakkasessa.

## Ultraäänikaikuluotain:

- Voidaan asentaa kanavan päälle.
- Anturi vie vähän asennustilaa.
- Anturi ei likaannu.
- Laite on yleensä suhteellisen kallis.
- Laite vaatii vähän huoltoa.

## Äänitaajuuskaikuluotain:

- Kaikuluotaimen putki on asennettava erilliseen mittauskammioon.
- Kaikuluotainputki on puhdistettava tarpeen vaatiessa.
- Laite on halpa.
- Laite vaatii vähän huoltoa.

## Paineanturi (pohjaan asennettava):

- Paineanturi on asennettava erilliseen mittauskammioon tai kanavassa olevaan syvennykseen.

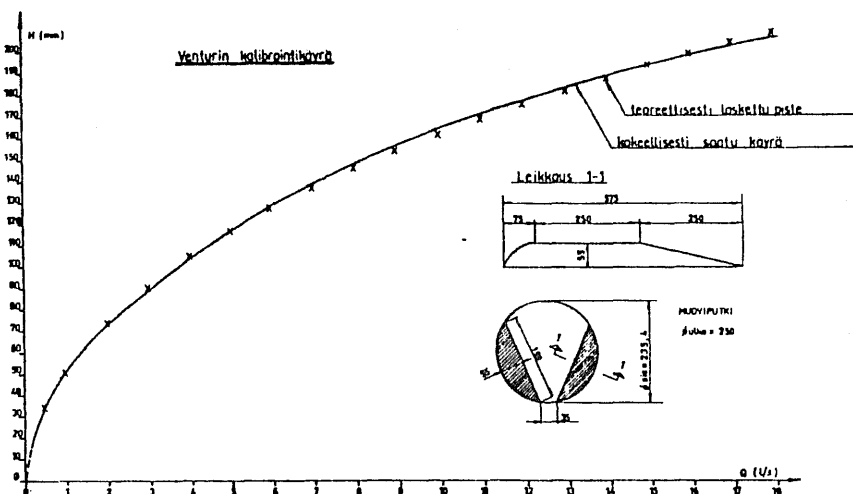
- Paineanturin päälle keräytyvä hiekka ja liete aiheuttaa virhenäytön.
- Paineanturi on puhdistettava päivittäin, kun vedessä on runsaasti hiekkaa tai muuta laskeutuvaa kiintoainetta.

Yleisesti voidaan todeta, että helppoissa olosuhteissa, kuten puhtaan veden mittauksessa päästään kaikilla mittarityypeillä riittävään toimintavarmuuteen. Ongelmia aiheuttavat jätevedessä olevat rätit ja kiintoaine, lämpötilanvaihtelut sekä muut ympäristötekijät. Tulokanavan pohjalle helposti varsinkin pienillä virtausnopeuksilla kertyvä kiintoaine aiheuttaa virhettä mittauksessa, joten kanava on pidettävä puhtaana.

## 2.72 Putkeen asennettu venturi ja V-pato

Helsingin teknillisen korkeakoulun vesirakennuslaboratoriossa on tutkittu putkeen sijoitetun venturin ja mittapadon soveltuvuutta viemäriveresimäärien mittaamiseen (ks. myös kohta 2.33). Tuloksia on esitetty lähteessä 12, jossa käsitellään mukaillun Palmer-Bowlus-venturiluiskatyyppin yleisiä käyttömahdollisuuksia, kalibrointikäyrien ja teoreettisten purkautumiskäyrien yhtäpitävyyttä sekä tähänastisia käyttökokemuksia. Lisäksi on analysoitu muiden vaihtoehtojen, lähinnä teräväharjaisen V-padon (Thompson-pato) käyttöperiaatteita.

Kuvassa 26. on esitetty esimerkki suoritetuista kalibroinneista.



Kuva 26. Putkiventurin kalibroitu ja teoreettinen purkautumiskäyrä (12)

## 2.73 Käyttökokemuksia ruotsalaisilta jätevedenpuhdistamoilta

Nordforsk-projektin "Drift av renseanlegg" yhteydessä on tehty selvitys (13), jossa käsitellään ruotsalaisten jätevedenpuhdistamoiden mittalaitteista saatuja kokemuksia. Tuloksia on kerätty mm. käymällä 20:llä 25:stä suurimmasta puhdistamosta.

Seuraavassa on esitetty yhteenveto erityyppisten pinnankorkeusmittareiden toiminnasta (taulukon lukumääriin eivät sisälly selvityksessä mukana olleet lietteen pinnankorkeusmittarit):

Mittari- tyyppi	Luku- määrä	Toimivuus		
		Hyvä	Kohtalainen	Huono
Kuplailuputki	84	75	6	3
Kaikuluotain	75	63	2	10
Kapasitiivinen anturi	12	3	1	8
Uimuri	12	11	1	0

Kuplailuputket ovat toimineet yleisesti ottaen hyvin. Vaikeuksia on esiintynyt mm. putken suun tukkeutumisessa, varsinkin lietteen pinnankorkeuden mittauksessa.

Kaikuluotaimet ovat myös toimineet suhteellisen hyvin, lukuunottamatta mädättämön lietteen pinnankorkeuden mittausta.

Kapasitiiviset anturit ja uimurit ovat toimineet suhteellisen huonosti lietteessä ja puhdistamattomassa jätevedessä.

## 3. PUTKIVIRTAUSMITTAUS

Jatkuvuusyhtälön mukaan putkessa virtaavan veden määrä saadaan kaavasta

$$Q = Av = \frac{\pi d^2 v}{4} \quad (24)$$

jossa  $Q$  = virtaama ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = putken poikkileikkauksen pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

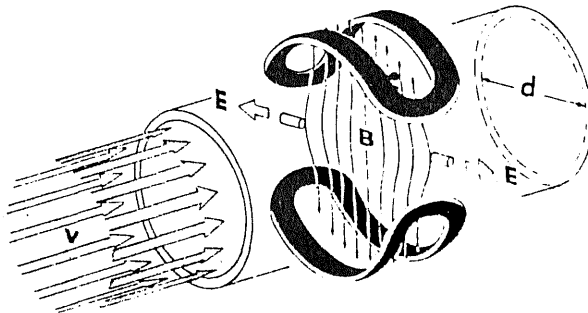
$d$  = putken halkaisija (m)

$v$  = virtausnopeus (m/s)

Jos putken mitat tunnetaan, niin virtaama saadaan määrittämällä virtausnopeus tai jokin siihen verrannollinen suure.

### 3.1 MAGNEETTINEN VIRTAAMAMITTARI

Magneettisessa virtaamamittarissa (kuva 27) putken ympärille on sijoitettu kaksi käämiä ja kaksi elektrodia, kumpikin omalle puolelleen putkea. Elektrodit on eristetty putkesta ja asennettu siten, että ne juuri ja juuri ulottuvat mitattavaan nesteeseen, mutta eivät niin syväälle, että ne häiritsevät aineen virtausta.



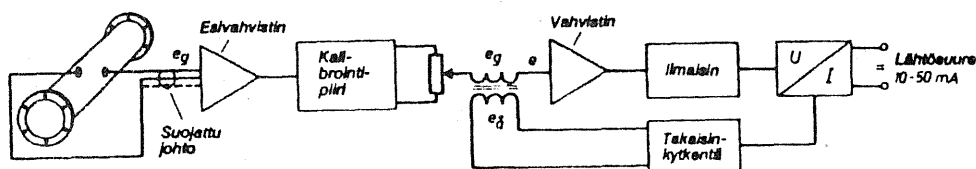
Kuva 27. Magneettisen virtaamamittarin periaate (13)

Mittaus perustuu Faradayn induktiolakiin, jonka mukaan johteeseen indusoituu sähkömotorinen voima sen liikkuessa kohtisuoraan magneettikenttää vastaan. Johteena on tässä tapauksessa virtaava vesi. Kun mittarin käämeihin syötetään vaihtovirta, niin muodostuu taajuuden mukaan vaihtuva magneettikenttä ja elektrodeihin syntyy sähkömotorinen voima (jännite) seuraavan yhtälön mukaan:

$$e = k B D v \quad (25)$$

jossa  $e$  = indusoitunut sähkömotorinen voima  
 $B$  = magneettivuon tiheys  
 $D$  = putken sisähalkaisija  
 $v$  = virtausnopeus  
 $k$  = vakio, joka riippuu mitoista, mitattavasta nesteestä, johtokyvystä ym.

Indusoituneen sähkömotorisen voiman suuruus saattaa nousta noin 1 mV asti virtaavan aineen nopeuden m/s kohti. Saatu mittaussignaali vahvistetaan ja muutetaan standardiviestiksi (kuva 28).

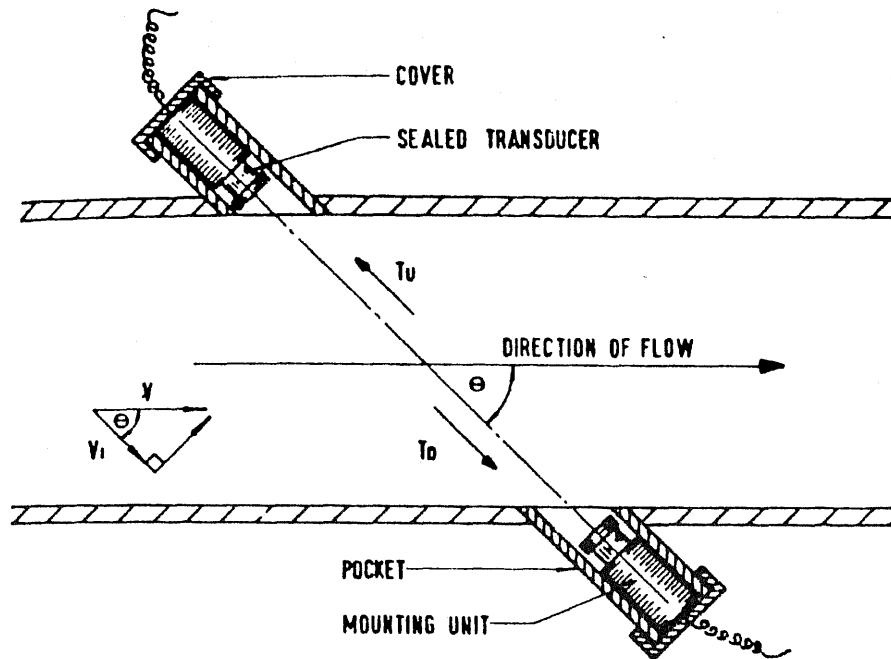


Kuva 28. Magneettisen virtaamamittarin lohkokkaavio (15)

### 3.2 ULTRAÄÄNIMITTARI

#### 3.21 Aikaero- ja taajuuseromittari

Näissä mittareissa on lähetin ja vastaanotin asennettu vastakkaisille puolille putkea siten, että ultraäänisäde muodostaa määrätyn kulman virtaussuunnan kanssa (kuva 29). Anturit voidaan asentaa putken ulkopintaan tai omiin asennustaskuihin. Kumpikin anturi toimii sekä ultraäänen lähettäjänä että vastaanottajana. Mittaus tapahtuu siis sekä myötä- että vastavirtaan. Ultraääni ehtii ylävirran puoleiseen anturiin hitaammin kuin alavirran puoleiseen anturiin. Tämä aikaero riippuu putkessa virtaavan nesteen nopeudesta (aikaeromittari). Aikaeron sijasta on mahdollista mitata myös ultraäänipulssien välille syntyvä taajuusero (taajuuseromittari).

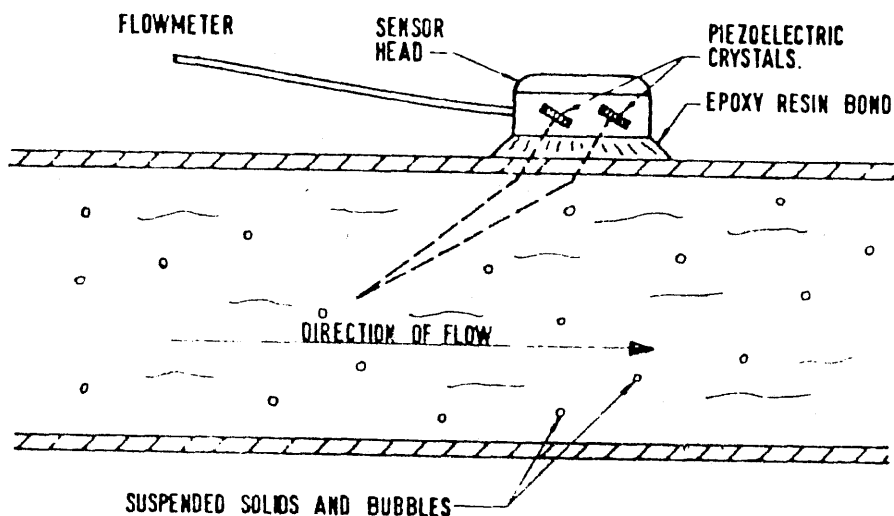


Kuva 29. Aikaero- tai taajuuseroperiaatteella toimiva ultraäänimittari (16)

### 3.22 Doppler-mittari

Mittaus perustuu Doppler-ilmiöön eli siihen, että äänilähteen taajuus muuttuu, kun lähde liikkuu havaitsijaan nähden.

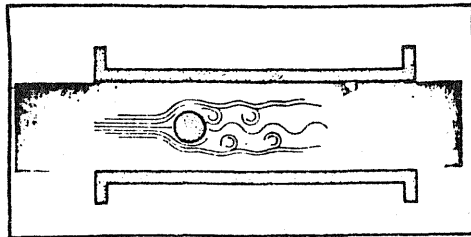
Doppler-mittarissa on vain yksi anturi, joka kiinnitetään putken ulkopintaan (kuva 30). Anturi lähettää määrätyllä taajuudella ultraääniviestin putken läpi virtaavaan nesteeseen, jossa olevat kiintoainepartikkelit tai ilmakuplat heijastavat viestin takaisin. Heijastuneen viestin taajuusmuutos on verrannollinen virtausnopeuteen.



Kuva 30. Doppler-periaatteella toimiva ultraäänimittari (16)

### 3.3 VORTEX-MITTARI ELI PYÖRREVANAMITTARI

Tässä mittarissa putkeen asetettu virtauseste aiheuttaa pyörteitä, joiden syntymistajuuus on verrannollinen virtausnopeuteen (kuva 31). Pyörteiden syntyminen voidaan mitata esimerkiksi lämpötila-antureilla tai vastus-venymäliuskoilla.



Kuva 31. Vortex-mittari (17)

### 3.4 TURBIINIMITTARI

Turbiinimittarin mittauselin on juoksupyörä, jonka pyörimisnopeus on verrannollinen virtausnopeuteen (kuva 32). Pyörimisnopeus mitataan induktiivisesti juoksupyörän siipiin sijoitettujen kestopagneettien avulla.



Kuva 32. Erilaisia turbiinimittareita (15)

### 3.5 PAINE-EROON PERUSTUVA MITTAUS

Tässä menetelmässä putkeen asennetaan kuristuselin ja mitataan paine kuristuselimen molemmilta puolilta (kuva 33). Bernoullin yhtälön ja jatkuvuusyhtälön avulla voidaan osoittaa, että tällöin pätee yhtälö

$$Q = K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (26)$$



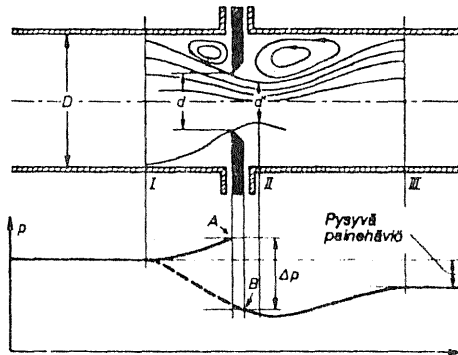
jossa  $Q$  = virtaama

$K$  = ko. mittalaitteelle ominainen vakio

$\Delta p$  = paine-ero

$\rho$  = mitattavan nesteen tiheys

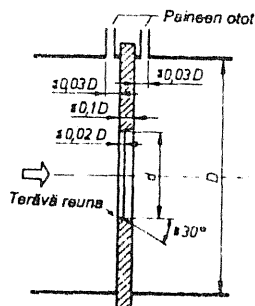
Vakio  $K$  riippuu mm. aukkosuhteesta eli kuristuskohdan ja putken pinta-alojen suhteesta, mittalaitteen muodosta, Reynoldsin luvusta ja putken suhteellisesta karheudesta.



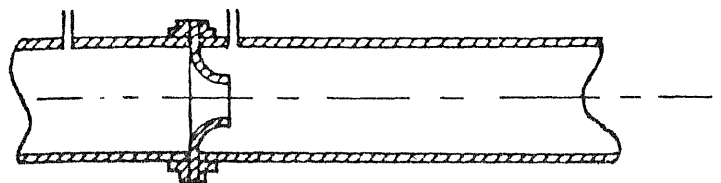
Kuva 33. Paineen muuttuminen kuristuselimessä (15)

Kuristuselimenä voidaan käyttää mittalaippaa, mittasuulaketta ja venturiputkea (kuvat 34-36). Mittalaipan aiheuttama painehäviö on suurin ja venturiputken pienin (kuva 37). Toisaalta mittalaippa on halvin, sen rakenne on lyhin ja se on helppo asentaa.

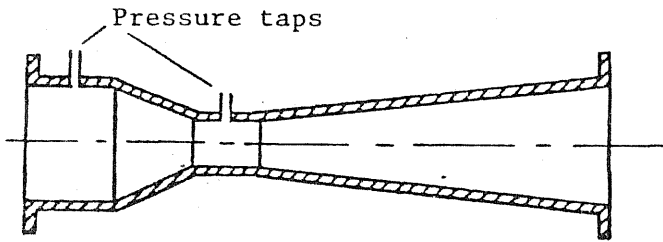
Kiintoainetta sisältävän veden mittaukseen voidaan käyttää segmenttilaippaa (kuva 38).



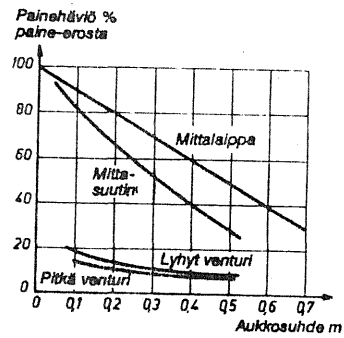
Kuva 34. Mittalaippa (15)



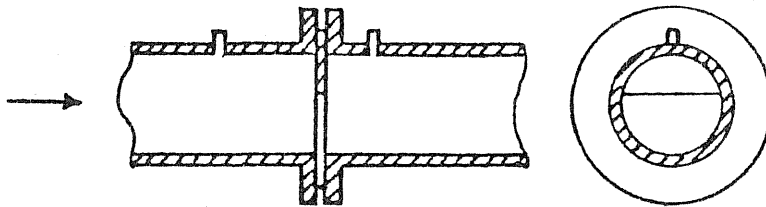
Kuva 35. Mittasuulake (9)



Kuva 36. Venturiputki (9)



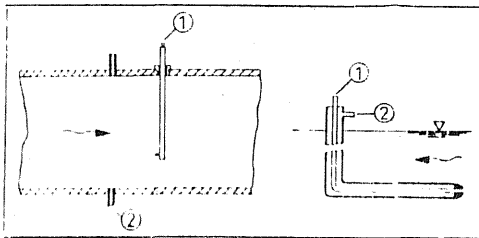
Kuva 37. Eri kuristuseliimien painehäviö (15)



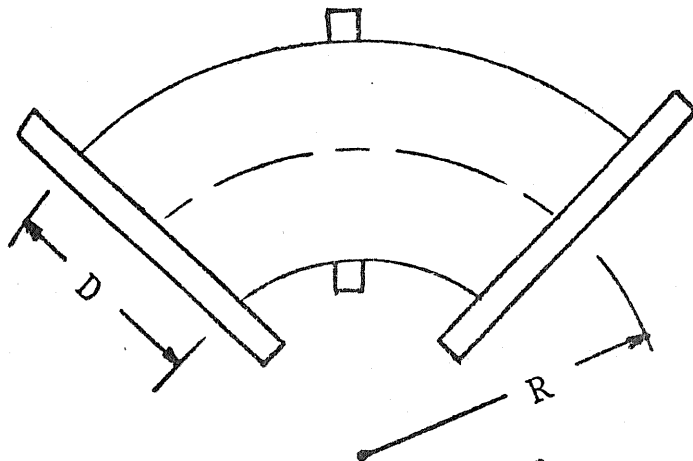
Kuva 38. Segmenttilaippa (9)

Paine-eroon perustuvia mittareita ovat myös Pitot-putki ja putkimutka (kuvat 39 ja 40).

43. Pitot-putki, 1 virtauspaineen ja 2 peruspaineen mittausta.



Kuva 39. Pitot-putki (4)



Kuva 40. Putkimutka (9)

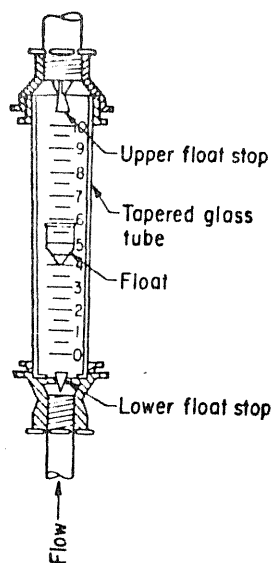
Pitot-putki on Bernoullin yhtälön sovellutus. Virtausta vastaan ja siihen nähden poikittain suunnattujen putkien paine-ero on verrannollinen veden virtausnopeuden neliöön.

Putkimutkassa syntyy paine-ero ulko- ja sisäkaarten välille. Paine-ero on verrannollinen virtausnopeuden neliöön.

### 3.6 MUUTTUVA-AUKKOISET MITTARIT

Muuttuva-aukkoiset mittarit toimivat myös kuristuskohdassa muodostuvan paine-eron periaatteella. Tässä tapauksessa kuitenkin kuristus muuttuu paine-eron pysyessä vakiona.

Rotametrissa (kuva 41) mitattava paine virtaa ylöspäin kartiomaisessa putkessa. Uimuri asettuu sellaiselle korkeudelle, että nosteen ja virtauksen aiheuttama voima kumoavat uimurin painon. Virtaama saadaan uimurin korkeusaseman perusteella.



Kuva 41. Rotametri (18)

Uimurin asento voidaan muuntaa standardiviestiksi tunnustelemalla uimurin asentoa magneettisesti, siis ilman mekaanista läpivienttiä.

Rotametri soveltuu vain puhtaan veden mittaukseen. Läppämittaria voidaan käyttää myös silloin, kun vedessä on kiintoainetta. Veden virratessa mittarin läpi, siinä oleva läppä kääntyy ja asettuu tasapainoasemaan. Läpän asento ilmaisee virtaaman suuruuden.

### 3.7 TILAVUUSLASKIJAT

Tilavuuslaskijoissa on yksi tai useampia mittauskammioita. Lasculaitteen avulla saadaan selville, kuinka monta kertaa mittari on täyttynyt ja tyhjentynyt.

Esimerkkeinä tilavuuslaskijoista voidaan mainita rengasmäntä-, lamelli- ja soikiohammaspyörämittarit.

Tilavuuslaskijat soveltuvat vain puhtaalle vedelle. Tosin tilavuuslaskijat voivat olla välillisesti jätevesikäytössä silloin, kun jätevesimäärä arvioidaan käyttöveden kulutuksen perusteella.

### 3.8 KÄYTTÖKOKEMUKSIA

Edellä mainitussa tutkimuksessa (kohta 2.73) on esitetty myös käyttökokemuksia putkivirtausmittareista ruotsalaisilla jätevedenpuhdistamoilla.

Tutkimuksen mukaan käytetään eniten magneettisia virtaamamittareita. Tutkituilla jätevedenpuhdistamoilla oli käytössä 12 magneettista virtaamamittaria varsinaisen jäteveden ja 25 polymeeriliuosten määrän mittaukseen. Kaikki mittarit olivat toimineet hyvin. Niiden keski-ikä oli tutkimushetkellä ollut noin neljä vuotta.

Häiriölähteistä mainittakoon vaakasuoraan asennettuun mittariin tapahtuva kiintoaineen laskeutuminen pienillä virtaamilla. Jos on muuten mahdollista, niin mittauksen kannalta olisi edullista sijoittaa mittari pystysuoraan putkeen. Tällöin vähenee myös rasvojen ja öljyjen vaikutus, koska ne nousevat ylös elektrodien ulottuvilta pumppaustaukojen aikana.

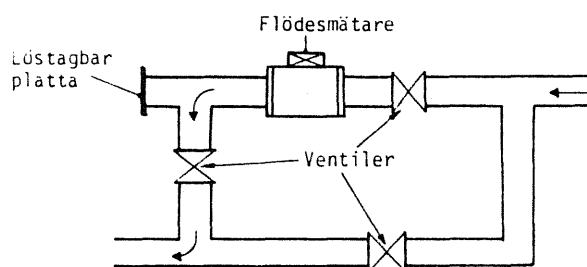
Vedessä olevat ilmakuplat voivat myös häiritä mittauksia. Tätä vaaraa voidaan pienentää asentamalla elektrodit vaakasuoraan (kuva 27).

Tutkituilla jätevedenpuhdistamoilla lietteen määrän mittauksessa oli käytössä 73 magneettista mittaria. Niistä 59 oli toiminut hyvin, 8 kohtalaisesti ja 6 huonosti.

Mittari voidaan puhdistaa virtausta pysäyttämättä käyttämällä kuvan 42 esittämää ohitusmahdollisuutta.

Muita putkivirtausmittareita käytettiin jäteveden tai lietteen mittaukseen vain muutamissa tapauksissa. Niistä mainittakoon

ultraäänimittari ja venturiputki (jäteveden mittaus) sekä doppler-mittari (lietteen mittaus).



Kuva 42. Magneettisen virtaamamittarin ohitus (13)

#### 4. SEKALAISIA VIRTAAAMAMITTAUS- MENETELMIÄ

##### 4.1 LAIMENNUSMENETELMÄ

Konsentroitua merkkiaineliuosta johdetaan vakionopeudella jätevesivirtaan niin kauan, että syöttöpisteen alapuolella sijaitsevas-  
sa näytteenottopisteessä saavutetaan jatkuvuustila. Tällöin vir-  
taama saadaan kaavasta

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0} q \quad (27)$$

jossa  $Q$  = jäteveden virtaama

$C_1$  = jäteveteen johdettavan merkkiaineliuoksen kon-  
sentraatio

$C_2$  = merkkiaineen konsentraatio mittauspisteessä

$C_0$  = merkkiaineen konsentraatio nollakokeessa

$q$  = jäteveteen johdettavan merkkiaineliuoksen vir-  
taama

Jos merkkiaine johdetaan jäteveteen yhdellä kertaa panossyöttönä,  
niin virtaama saadaan kaavasta

$$Q = \frac{C_1 V}{\int_0^{\infty} (C_2 - C_0) dt} \quad (28)$$

jossa  $V$  = panossyöttönä johdettavan merkkiaineliuoksen tilavuus  
 $t$  = aika

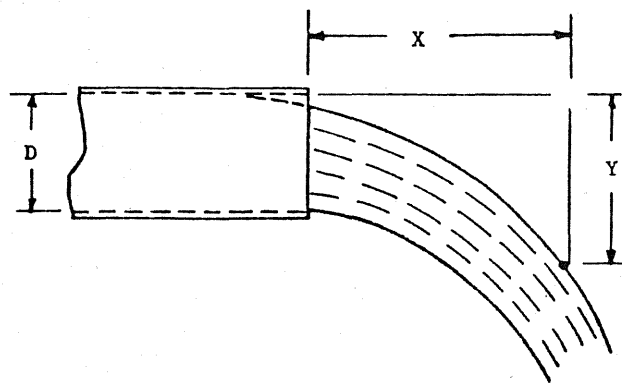
Merkkiaineina voidaan käyttää suolaliuoksia, väriaineita tai radioaktiivisia isotooppeja.

Laimennusmenetelmää käytetään tilapäisissä mittauksissa, esimerkiksi muiden menetelmien tarkistamiseen. Sitä voidaan soveltaa sekä avokanava- että putkivirtausmittaukseen.

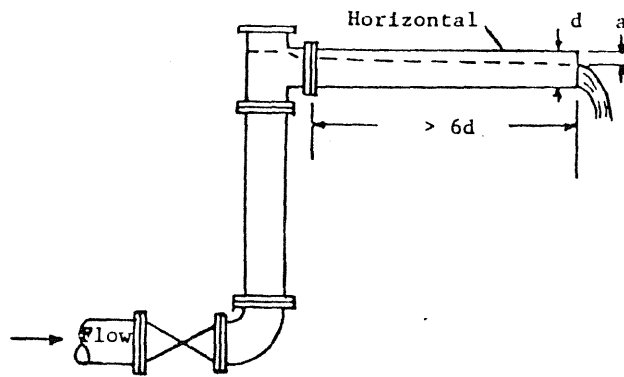
#### 4.2 MUITA MENETELMIÄ

Astiamittaus on menetelmä, jossa mitataan tilavuudeltaan tunnetun altaan tai astian täyttymiseen kuluva aika, jonka perusteella virtaama voidaan laskea.

Putken suusta purkautuvan veden virtaama voidaan määrittää veden lentoradan (kuva 43) tai putken täyttöasteen perusteella (kuva 44). On myös mahdollista asentaa putken suuhun mittalaippa. Näitä menetelmiä on käsitelty lähteessä 9.

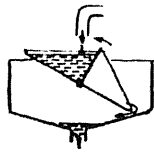


Kuva 43. Virtaaman määrittäminen veden lentoradan perusteella  
 (9)



Kuva 44. Virtaaman määrittäminen putken täyttöasteen perusteella (9)

Kaativat nestelaskijat (kuva 45) ovat yksinkertaisia tilavuuslaskijoita (vrt. kohta 3.7).



Kuva 45. Kippilaskija (20)

Kun tunnetaan kanaalin poikkileikkaus, niin virtaama voidaan määrittää mittaamalla kahden pisteen väliseen virtaukseen kulunut aika, ohivirtausaika, esimerkiksi kelluvan esineen avulla.

Lisäksi voidaan mainita jätevesimäärän arvioiminen pumppujen käyntiaikojen, pumppaamon energian kulutuksen tai käyttöveden kulutuksen perusteella.

## 5. SUOMESSA MARKKINOILLA OLEVIA VIRTAAMAMITTAREITA

Markkinoilla olevien teollisuusjätevesien virtaamamittareiden ja näytteenottimien kartoittamiseksi suoritettiin kysely alan laitteitoimittajien keskuudessa vuonna 1980. Kartoituksen suoritti tilaustyönä Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Kysely lähetettiin 72:lle alan laitetoimittajalle. Vastanneita oli yhteensä 62, joista 24 ilmoitti edustavansa molempia tai toista ko. laitteista.

Kartoituksen tulokset on esitetty virtaamamittareiden osalta liitteessä 1, johon on koottu laitetoimittajien nimet, laitteiden valmistajat, huoltoliikkeet, merkit ja mallit, toimintaperiaatteet, soveltuvuudet ja rajoitukset teollisuusjätevesille sekä hinnat.

Liitteessä on lueteltu 19 virtaamamittareiden laitetoimittajaa, jotka edustavat 28 erilaista mittaria. Avokanavamittareita on 17 ja ne jakautuvat toimintaperiaatteensa perusteella seuraavasti:

- mekaaninen (uimuri)	1
- pneumaattinen (kuplailuputki)	4
- kaikuluotaus (ultraääni)	5
-     "-           (äänitaajuus)	2
- paineanturi	5

Putkimittareita on 11 ja ne jakautuvat toimintaperiaatteensa perusteella seuraavasti:

- magneettimittari	7
- ultraäänimittari (Doppler-ilmiö)	4

Laitetoimittajien ilmoituksen mukaan kaikki mittarit soveltuvat eräin rajoituksin teollisuusjätevesille. Avokanavamittareista on rajoituksia esitetty vain uimurille, johon saattaa tarttua rättejä yms. Putkivirtausmittareille on mainittu virtausnopeusminimi 0,3 - 0,5 m/s.

Avokanavamittareiden hinta on yleensä alueella 5000 - 10 000 mk.

Magneettisten putkivirtausmittareiden hinnat alkavat alueelta 6600 - 23 000 mk. Putkikoon kasvaessa hinta nousee esimerkiksi seuraavasti:

<u>putkikoko (mm)</u>	<u>hinta (mk)</u>
200	15 400
400	29 000
600	48 900
800	62 300
1000	78 500



Ultraääniputkivirtausmittareiden hinta vaihtelee alueella  
7450 - 19 000 mk.

Mittareiden hintoja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että niiden lisäksi tulevat asennuskustannukset ja mahdolliset mittapadon tai venturikanavan rakennuskustannukset. Esimerkkinä siitä, mitä virtaamamittauksen järjestäminen kokonaisuudessaan maksaa, esitetään kolme tapausta. Tiedot on saatu hankkeista, joihin on myönnetty teollisuuden vesiensuojelulainaa.

Tehtaan jätevesikanaaliin rakennettu avokanavaventuri ( $Q = 86400 \text{ m}^3/\text{d}$ ), jossa pinnankorkeus mitataan paineanturilla, on tullut maksamaan seuraavasti:

Venturikanava (maansiirtotöineen)	69 600 mk
Instrumentointi (virtaamamittari ym.)	16 400 "
	<hr/> 86 000 mk

Tarkastuskaivoon sijoitettu mittapato ( $Q = 480 \text{ m}^3/\text{d}$ ), jossa pinnankorkeus mitataan paineanturilla, on tullut maksamaan seuraavasti:

Pinnankorkeuslähetin	3 150 mk
Virtaamamittari	4 937 "
V-patolaippa	1 500 "
Asennus	1 000 "
	<hr/> 10 587 mk

Magneettinen mittari (putkikoko 100 mm,  $Q = 2400 \text{ m}^3/\text{d}$ ) on tullut maksamaan seuraavasti:

Magneettinen mittari, lisälaitteet ja kaapelointi	26 160 mk
Asennus	3 500 "
	<hr/> 29 660 mk

Virtaamamittauksen investointikustannukset liikkuvat siis karkeasti alueella 10 000 - 100 000 mk riippuen vesimäärästä, mittausmenetelmästä ym. tekijöistä.

## 6. YLEISOHJEITA VIRTAAAMAMITTARIN VALINNASTA

Virtaamamittaria valittaessa joudutaan vastaamaan mm. seuraaviin kysymyksiin:

- Mikä on mittauksen tarkoitus?
- Millainen on jäteveden laatu?
- Millaiset ovat mittausolosuhteet?
- Kuinka suuri tarkkuus vaaditaan?
- Millainen hintaluokka voidaan hyväksyä?

Edellä olevat näkökohdat huomioon ottaen on selvää, että joka paikkaan soveltuvaa yleismittaria ei ole olemassa. Sopivan mittarin valinta on harkittava tapauskohtaisesti.

Putkivirtausmittauksen osalta mittarin valintaperusteita on esitetty liitteessä 3.

Seuraavassa on esitetty luettelo niistä menetelmistä, jotka yleensä tulevat kyseeseen jäteveden virtaamamittauksessa. Yleisesti ottaen sellaiset mittarit, jotka sietävät hyvin kiintoainetta, soveltuvat jäteveden jatkuvaan mittaukseen.

### Avokanavamittaus

#### Kiinteä mittaus

- Venturikanava
- Mittapato (vähän kiintoainetta, suhteellisen pieni vesimäärä)

#### Tilapäinen mittaus

- Mittapato
- Siivikko
- Laimennusmenetelmä
- Pitot-putki
- Astiamittaus (altaan täyttämisaika)
- Ohivirtausaika

#### Pinnankorkeuden mittaus

- Kaikuluotaus
- Kuplailuputki
- Paineanturi
- Uimuri (eräin rajoituksin)

### Putkivirtausmittaus

#### Kiinteä mittaus

- Magneettimittari
- Ultraäänimittari
- Venturiputki
- Segmenttilaippa

#### Tilapäinen mittaus

- Laimennusmenetelmä
- Mittalaippa
- Pitot-putki
- Astiamittaus
- Virtaus putken suusta (veden lentorata, putken täyttöaste)

Avokanavamittaukseen koskevia standardeja on esitetty liitteessä 4 ja putkivirtausmittaukseen koskevia standardeja liitteessä 5.

## II NÄYTTEENOTTO

### 1. Y L E I S T Ä

#### 1.1 NÄYTTEEN EDUSTAVUUS

Jätevesinäyte on edustava, jos se vastaa kokoomukseltaan sitä suurempaa vesimäärää, josta näyte on otettu.

Jos jätevesi ei ole riittävän homogeenista, niin edustavan näytteen saaminen on vaikeata. Erityisen ongelmallisia tässä suhteessa ovat esimerkiksi rasvoja, öljyjä ja runsaasti kiintoainetta sisältävät jätevedet.

Hitaasti virtaavassa jätevedessä saattaa olla hyvin pysyvä kerrostuneisuus, jolloin jäteveden ominaisuudet vaihtelevat poikkileikkauksen eri kohdissa. Tämän johdosta näyte on otettava sellaisesta kohdasta, jossa jätevedellä on mahdollisimman pyörteinen virtaus, esimerkiksi mittapadon jälkeen. Näytettä ei saa ottaa liian läheltä kanaalin pohjaa tai seiniä, joihin on saattanut kerääntyä kiintoainetta.

Ennen kiinteän näytteenottimen asentamista tulisi näytteenotto- paikan soveltuvuus tutkia ottamalla näytteitä jätevesikanaalin poikkileikkauksen eri kohdista. Jos jätevesi ei ole riittävän homogeenista, on näytteenottopaikkaa vaihdettava tai järjestettävä riittävä turbulenssi esimerkiksi virtausvastuksilla.

Liuenneiden kaasujen, rasvojen ja öljyjen näytteenotto edellyttää yleensä erityisjärjestelyjä edustavan näytteen saamiseksi.

#### 1.2 NÄYTETYYPIT

Jäteveden näytteenotossa käytetään yleensä seuraavia näytetyyppejä:

##### Kertanäyte

Koko näytetilavuus otetaan yhdellä kertaa määrätyllä hetkellä.

Kertanäytteen perusteella saadaan selville, mikä on ollut tutkittavan jäteveden koostumus näytteenottohetkellä.

Kertanäytteiden avulla voidaan seurata jäteveden laadun vaihtelua tutkitulla aikavälillä.

### Kokoomanäyte

Kokoomanäytteen perusteella pyritään saamaan selville jäteveden keskimääräinen koostumus tutkitulla aikavälillä. Yksinkertainen kokoomanäyte muodostetaan yhtä suurista osanäytteistä, jotka otetaan tasaisin aikaväleihin. On myös mahdollista johtaa osa tutkitavasta jätevedestä jatkuvasti näytteenottoastiaan.

### Kokoomanäyte virtaaman suhteessa

Kokoomanäyte saadaan virtaaman suhteessa esimerkiksi ottamalla tasaisin aikaväleihin osanäytteitä, joiden tilavuus on verrannollinen näytteenottohetken virtaamaan, tai ottamalla yhtä suuri osanäyte aina, kun tietty määrä jätevettä on ohittanut näytteenottopisteen.

Jos virtaama ja jäteveden laatu vaihtelevat, niin on yleensä suositeltavaa ottaa kokoomanäyte virtaaman suhteessa.

## 2. N Ä Y T T E E N O T T O A V O K A N A V A S T A

Seuraavassa esitetään näytteenottovälineitä, joita voidaan käyttää näytteenottoon avokanavasta, altaasta tai muusta avoimesta paikasta.

### 2.1 MANUAALINEN NÄYTTEENOTTO

Näyte voidaan ottaa muoviastialla tai -pullolla, joka on mahdollisesti asennettu varren päähän. Usein käytetään myös erityisiä näytteenottimia. Esimerkkinä mainittakoon Ruttner-tyyppinen näytteenotin, joka lasketaan avattuna veteen ja suljetaan laskettavalla painolla.

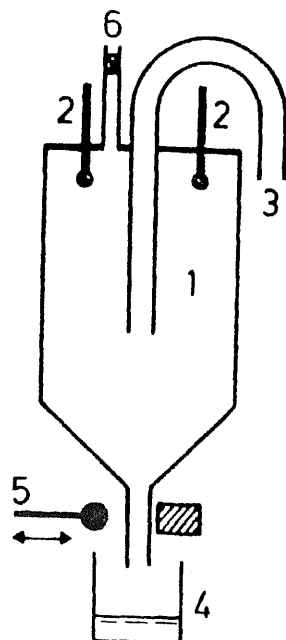
## 2.2 AUTOMAATTISET NÄYTTEENOTTIMET

Automaattiset näytteenottimet voidaan jakaa toimintaperiaatteen-  
sa mukaan seuraavasti:

- vakuuminäytteenottimet
- paineilmanäytteenottimet
- näytteenottopumput
- mekaaniset noutimet

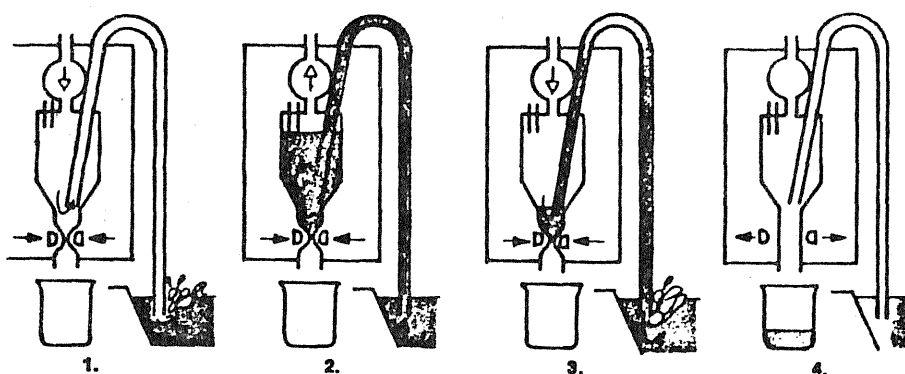
### 2.21 V a k u u m i n ä y t t e e n o t t i m e t

Rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvissa 46 ja 47. Ensimmäisessä vaiheessa poistiventtiili (magneettiventtiili) sulkeutuu ja laite puhaltaa imuletkun tyhjäksi. Toisessa vaiheessa alipaine imee näytteen vakuumikammioon. Kun näyte nousee pintaelektrodeihin, niin imuvaihe päättyy. Kolmannessa vaiheessa laite puhaltaa imuletkun tyhjäksi ja ylimääräisen veden ulos kammioista. Imuletkun asema näytekammiossa määrää siis näytetilavuuden. Neljännessä vaiheessa poistiventtiili avautuu ja päästää näytteen keräysastiaan.



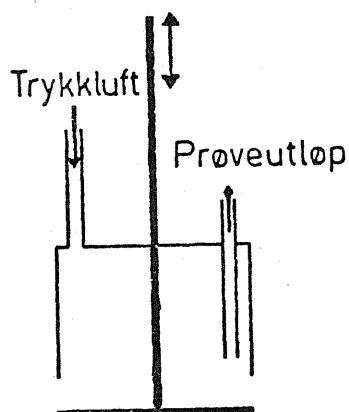
1. Näytekammio (vakuumikammio)
2. Pintaelektrodit
3. Imuletku
4. Näytteen keräysastia
5. Magneettiventtiili
6. Vakuumi

Kuva 46. Vakuuminäytteenotin (23)



Kuva 47. Vakuuminäytteenottimen toimintavaiheet (24)

## 2.22 P a i n e i l m a n ä y t t e n o t t i m e t

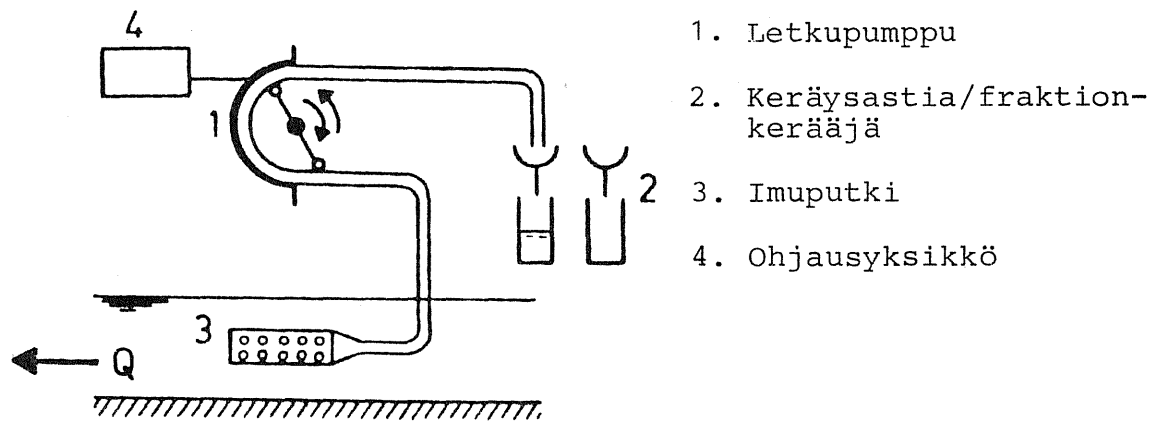


Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 48. Näytekammio on veteen upotettuna. Kun näytekammio avautuu, niin se täyttyy vedellä. Sen jälkeen kammio sulkeutuu ja paineilma puhalttaa näytteen kammiosta keräysastiaan.

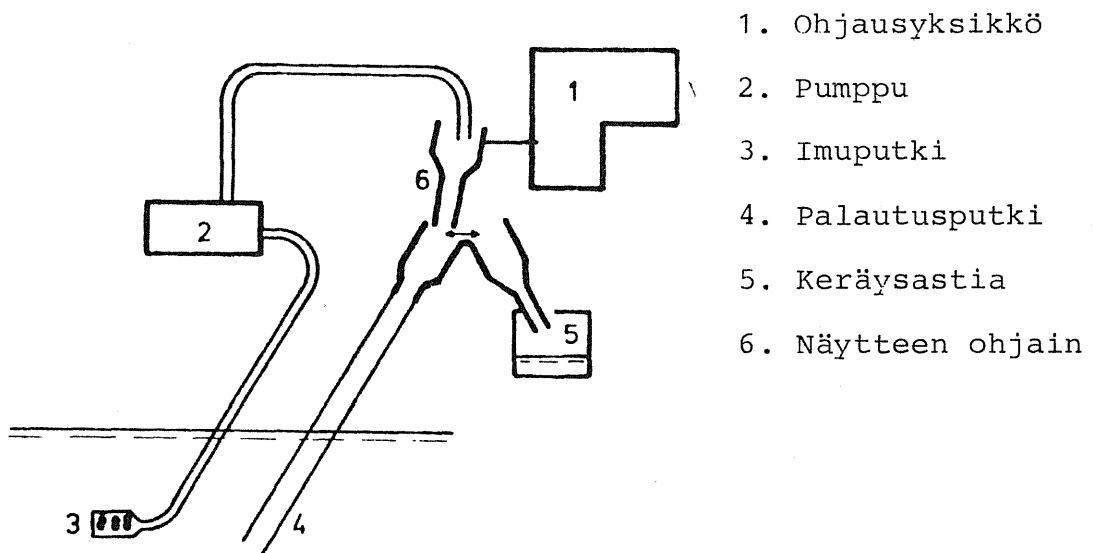
Kuva 48. Paineilmanäytteenottimen toimintaperiaate (25)

## 2.23 N ä y t t e e n o t t o p u m p u t

Näytteenottopumppuna voidaan käyttää esimerkiksi letkupumppua tai keskipakopumppua. Näyte pumpataan suoraan näytteenottoastiaan joko jatkuvasti tai jaksottaisesti (kuva 49). Voidaan myös menettellä siten, että jätevetä pumpataan ylös jatkuvasti ja palautetaan takaisin. Palautusvirta ohjataan ajoittain keräysastiaan (kuva 50).



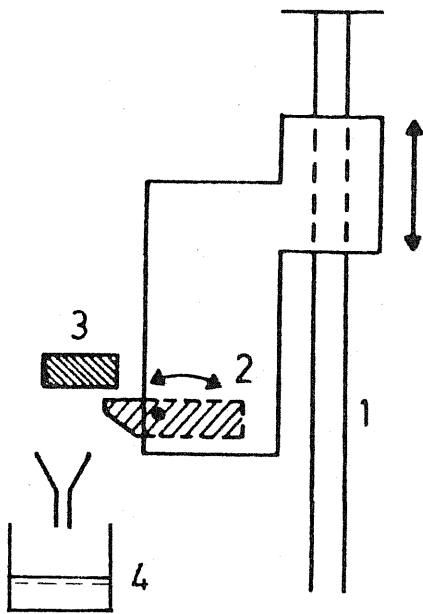
Kuva 49. Letkupumppunäytteenotin (23)



Kuva 50. Näytteenottopumppu (23)

## 2.24 M e k a a n i s e t n o u t i m e t

Näytteenotto tapahtuu liikkuvan astian avulla. Eräs esimerkki mekaanisista noutimista on esitetty kuvassa 51. Näytteenotto-astia laskeutuu pystysuoraa kiskoa pitkin veteen. Sen jälkeen astia nousee ylös ja osuessaan tyhjennysreunaan tyhjenee alla olevaan keräysastiaan.



1. Kisko
2. Näytteenottoastia
3. Tyhjennysreuna
4. Näytteen keräysastia

Kuva 51. Mekaaninen noudin (23)

### 2.3 KÄYTTÖKOKEMUKSIA

Ruotsalaisessa tutkimuksessa (27) verrattiin toisiinsa seuraavan tyyppisiä näytteenottimia:

- astianäytteenottimet (noutimet)
- paineilmanäytteenottimet
- vakuuminäytteenottimet

Kutakin tyyppiä oli kaksi kappaletta eli siis yhteensä kuusi näytteenotinta. Referenssimenetelmänä oli manuaalinen näytteenotto.

Tulosten mukaan vakuuminäytteenottimet, ennen niiden uudelleenkonstruointia, antoivat liian suuria tuloksia kiintoaineen ja kemiallisen hapenkulutuksen osalta (25 - 50 %). Neljän muun näytteenottimen tulokset olivat paljon lähempänä manuaalisen näytteenoton tuloksia näiden kahden parametrin osalta. Kaikki näytteenottimet antoivat samansuuntaisia tuloksia kokonaisfosforin suhteen.



Vakuuminäytteenottimien virhe johtui siitä, että kiintoaine rikastuu putkessa virtaavan nestepatsaan etuosaan. Tämä virhe voitiin kuitenkin kompensoida yksinkertaisilla muutoksilla näytteenottimien rakenteessa, esim. ottamalla suuri näytetilavuus vakuumikammioon ja sekoittamalla näyte ennen kuin siitä otetaan varsinainen osanäyte.

Tanskalaisessa tutkimuksessa (23) oli mukana 10 näytteenotinta. Toimintaperiaatteeltaan laitteet jakautuivat seuraavasti:

	kpl
- mekaaniset noutimet	1
- paineilmanäytteenottimet	2
- vakuuminäytteenottimet	4
- näytteenottopumput	3

Tutkimuksessa selvitettiin näytteenottimien kykyä ottaa edustavia näytteitä tavallisesta asumajätevedestä.

Tulosten mukaan näytteenottimilla ei ollut eroa otettaessa näytteitä esiselkeytetystä ja biologisesti puhdistetusta jätevedestä. Sen sijaan eroja syntyi käsittelemättömän jäteveden näytteenotossa, jolloin eräät laitteet (3 kpl) ottivat liian vähän kiintoainetta. Erot olivat kuitenkin pieniä, suuruusluokkaa 10 - 15 %. Näistä liian vähän kiintoainetta ottaneista laitteista kaksi oli vakuuminäytteenotinta ja yksi letkupumppu.

Tutkimuksessa selvitettiin myös sitä, miten osanäytteen tilavuus pysyy vakiona. Poikkeamat olivat kaikkien laitteiden kohdalla kohtalaisen alhaisia. Suurin suhteellinen standardipoikkeama oli 3,6 %.

Tutkittaessa sitä, miten osanäyte kontaminoituu edellisen osanäytteen vaikutuksesta, havaittiin, että tämä oli vähäistä yhdeksällä laitteella kymmenestä. Ainoastaan toisella paineilmanäytteenottimella kontaminaatio oli erittäin suuri. Tämä johtui siitä, että näytteenottokammio täyttyi välittömästi edellisen näytteen tyhjennyksen jälkeen. Näytteenottimen modifioidussa mallissa tämä asia on korjattu siten, että näytteenottokammio pidetään suljettuna jokaisen näytteenoton välillä.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että automaattisella näytteenottimella toimintaperiaatteesta riippumatta voidaan yleensä ottaa edustavia näytteitä, mikäli näytteenottokohtaan järjestetään hyvä sekoitus ja mikäli jätevesi ei paljon poikkea tavallisesta asumajätevedestä.

Tutkimuksessa ei käytetty sellaista jätevettä, joka sisältää kelluvia aineita tai raskasta kiintoainetta. Tällaista tapaus- ta varten on kuitenkin esitetty seuraavat ohjeet:

- Mekaaniset noutimet ottavat normaalisti enemmän kelluvia aineita kuin muut näytteenottimet, jotka yleensä ottavat liian vähän kelluvia aineita.
- Paineilmanäytteenottimet sekä voimakkaasti imevät vakuumi- tai letkupumput ottavat normaalisti raskasta kiintoainetta enemmän kuin hitaasti imevät pumput, jotka yleensä ottavat liian vähän raskasta kiintoainetta.
- Imuputken halkaisija ei saa olla liian suuri eikä liian pieni, koska näytteen nopeuden pitää kiintoaineen kulkeutumisen varmistamiseksi olla mieluummin alueella 0,6 - 3 m/s.

Nordmiljö 80-projektin yhteydessä tehdyssä tutkimuksessa (26) testattiin 4 vakuuminäytteenotinta, 2 paineilmanäytteenotinta, 1 astianäytteenotin (mekaaninen noudin) ja 1 näytteenottopumppu, yhteensä siis 8 automaattista näytteenotinta. Tutkimuksessa testattiin näytteenottimien kykyä ottaa edustavia näytteitä kuitulevytehtaan jätevesikanaalista. Referenssimenetelmänä oli manuaalinen näytteenotto.

Tulosten mukaan kaikki näytteenottimet eivät ottaneet edustavia näytteitä kiintoainepitoisesta jätevedestä:

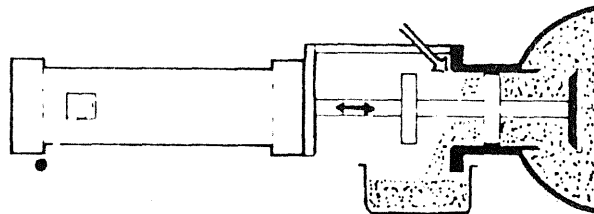
- Vakuuminäytteenottimet ottivat yleensä suhteellisen edustavia näytteitä eikä kiintoaineen partikkelikoolla ollut vaikutusta tulokseen. Yksi vakuuminäytteenotin otti kuitenkin systemaattisesti liian paljon kiintoainetta. Syyksi arveltiin kiintoaineen rikastumista putkessa virtaavan nestepatsaan etuosaan. Virhe voitaneen korjata laitetta modifioimalla (vrt. edellä mainittu ruotsalainen tutkimus).

- Paineilmanäytteenottimista toinen ei soveltunut lainkaan kiintoainepitoisen jäteveden näytteenottoon, koska laitteen toiminta häiriytyi kumiseen suljinmekanismiin kertyneen kiintoaineen takia. Toinen paineilmanäytteenotin otti systemaattisesti liian paljon kiintoainetta. Virhe voitiin kuitenkin korjata modifioimalla laitetta siten, että näytteenottokammio on suljettuna näytteenottokertojen välillä (vrt. edellä mainittu tanskalainen tutkimus).
- Astianäytteenotin (mekaaninen noudin) otti suhteellisen edustavia näytteitä. Kiintoaineen partikkelikoolla oli kuitenkin vaikutusta tulokseen, koska osanäytteen tilavuus oli vain 50 ml.
- Näytteenottopumppu (letkupumppu) otti suhteellisen edustavia näytteitä. Kiintoaineen partikkelikoolla oli kuitenkin vaikutusta tulokseen, koska imuletkun suukappaleen aukot olivat suhteellisen pieniä (9 mm).

### 3. N Ä Y T T E E N O T T O S U L J E T U S T A S Y S - T E E M I S T Ä

Putkesta tapahtuva näytteenotto voidaan järjestää siten, että putkesta otetaan jatkuvasti ulos omalla paineellaan tuleva sivuvirtaus. Tämä sivuvirtaus johdetaan näytteenottoastiaan jatkuvasti tai jaksottaaisesti.

Näyte voidaan ottaa myös suoraan putkeen asennetun automaattiventtiilin avulla (kuva 52).



Kuva 52. Näytteenotto suljetusta systeemistä automaattiventtiilin avulla (26)

#### 4. SUOMESSA MARKKINOILLA OLE- VIA NÄYTTEENOTTIMIA

Edellä mainitun (luku 5/I) teollisuusjätevesien virtaamamittareita ja näytteenottimia koskevan kartoituksen tulokset on näytteenottimien osalta esitetty liitteessä 2.

Valikoima ei ole niin laaja kuin virtaamamittareiden osalta. Liitteessä 2 on lueteltu 7 laitetoimittajaa ja 11 näytteenotinta. Seuraavat näytteenotintyyppit ovat edustettuina: vakuumi-, paineilma-, letkupumppu- ja astianäytteenotin (noudin). Hintaluokka on 4 400 - 8 100 mk.

#### 5. YLEISOHJEITA NÄYTTEENOTTIMEN VALINNASTA

Jos jätevesi on suhteellisen homogeenista eikä sisällä paljon kiintoainetta, niin kaikilla markkinoilla olevilla näytteenottimilla saadaan yleensä edustavia näytteitä.

Jos jätevesi sisältää paljon kiintoainetta, niin tällöinkin on mahdollista saada edustavia näytteitä edellyttäen, että näytteenotin on oikealla tavalla konstruoitu. Laitteissa havaittuja virheitä on esitetty kohdassa 2.3.

Seuraavassa esitetään eräitä näytteenottimelta vaadittavia yleisiä ominaisuuksia:

- Näytteenottimella saadaan edustavia ja sopivan suuruisia näytteitä.
- Näytteenotin ei saa muuttaa näytteen koostumusta.
- Näytteenottimella saadaan kokoomanäytteitä sekä virtaaman suhteessa että aikaohjattuna.
- Näytteenottoväliä voidaan säätää tarpeeksi suurissa rajoissa (normaalisti muutamasta minuutista tuntiin).
- Osanäytteenotilavuus tunnetaan tarkasti eikä se vaihtelee enempää kuin  $\pm 5\%$ .
- Niiden osien, jotka joutuvat kosketuksiin näytteen kanssa, on oltava inerttiä materiaalia, esim. lasia, polyeteeniä tai teflonia.

- Näyte ei saa kontaminoitua edellisen näytteen vaikutuksesta.
- Tukkeutumisen välttämiseksi näytteenottoputken halkaisijan on oltava vähintään 6 mm.
- Näytteenotin on rakennettu korroosionkestävästä materiaalista ja sähkölaitteet on suojattu kostean ja syövyttävän ilman vaikutukselta.
- Näytteenotin on helppo käyttää, puhdistaa, huoltaa ja korjata.
- Näytteenottimen nostokorkeuden on oltava riittävä, 3 m minimi, 6 m toivottava.
- Näytteen nopeuden näytteenottoputkessa on oltava riittävä, 0,6 - 3 m/s.
- Näytteenottoputki puhdistetaan automaattisesti jokaisen osanäytteen välillä.
- Näytteenottimen pitää toimia myös pakkasella. Tämä koskee erityisesti kuljetettavia malleja.

Käyttökelpoisen näytteenottimen ei tietenkään tarvitse täyttää kaikkia edellä mainittuja vaatimuksia, koska näytteenottimelle asetettavat vaatimukset vaihtelevat näytteenottotilanteesta riippuen.

## KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Rinne, V., Vesirakentajan virtausoppi, Otava, Helsinki, 1945.
2. Castren, V., Hydrauliiikka, Moniste n:o 173, Teknillinen korkeakoulu, Helsinki, 1962.
3. Hosia, L., Hydrauliiikka, Vesirakennus, RIL 92, Helsinki, 1973.
4. Vesihuolto, RIL 93, Helsinki, 1973.
5. ISO 1438 - 1975 (E), Liquid flow measurement in open channels using thin-plate weirs and venturi flumes.
6. ISO 3847 - 1977 (E), Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes - End-depth method for estimation of flow in rectangular channels with a free overfall.
7. Tulenheimo, R., Avokanavamittaus, Vesihuoltolaitosten instrumentointi, INSKO 54 - 78 - VII.
8. Graff, O., Fladda, G., Mengdemåling i åpne og lukkede systemer, Nordmiljø 80, Rapport Nr 2 A :7, 1977.
9. Kulin, G., Compton, P., A Guide to methods and standards for the Measurement of Water Flow, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Special Publication 421, 1975.
10. Mäkelä, E., Laukkarinen, T., Wickström, K., Avokanavavirtausmittarien julkinen testaus, Loppuraportti, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Kemian laboratorio, Espoo, 1978.
11. Mäkelä, E., Laukkarinen, T., Wickström, K., Avokanavavirtausmittarien julkinen testaus, Yhteenvedo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Kemian laboratorio, Tiedonanto 17, 1978.
12. Hepojoki, A., Koskelo, J., Viemäriveresimäärien mittarit, Vesitalous 2/1978.
13. Holmström, H., Erfarenheter av mätinstrument vid avloppsvattenrening, Rapport 3, Nordforsk-prosjektet: Drift av renseanlegg, Stockholm, 1979.
14. Grönholm, S., Putkivirtausmittaus, Vesihuoltolaitosten instrumentointi, INSKO 54 - 78 - VIII.
15. Andersson, L-E., Kördel, L., Teollisuuden mittaustekniikka, Otava, Helsinki, 1978.
16. Crossley, A., Ultrasonic flow measurement, Water Services, December 1978.
17. Björklöf, D., Flödesmätare - marknadsöversikt, Kemisk tidskrift, Nr 7 - 8, 1977.

18. Lomas, D.J., Selecting the Right Flowmeter, Part I, Instrumentation Technology, May 1977.
19. Lomas, D.J., Selecting the Right Flowmeter, Part II, Instrumentation Technology, June 1977.
20. Hietala, V., Mittausten suorittaminen, Tekniikan käsikirja 1 B, K.J. Gummerus, Jyväskylä, 1965.
21. Siitonen, K., Kanavassa tapahtuvan virtausmittauksen ihmeellisyyksiä, Vesitalous 1/1978.
22. Siitonen, K., Kuinka rakennan hyvän seisovan aallon venturikanavan, Vesitalous 2/1978.
23. Vandkvalitetsinstituttet, Afprøvning av prøvetagningudstyr til spildevand, Rapport til Miljønstyrelsens Referencelaboratorium på det kemiske vandanalyseområde, Hørsholm, 1978.
24. Näytteenotosta jätevesilaitoksissa, Kemia - Kemi 3/1978.
25. Graff, O., Blidberg, G., Kontinuerlig og intermitterent prøvetaging i åpne og lukkede systemer, Nordmiljø 80, Rapport Nr 2 A:8, 1977.
26. Graff, O., Undersøkelse av åtte intermitterende prøvetagare for avloppsvann, Nordmiljø 80, Rapport Nr 2 A:9, 1978.
27. Holmström, H., Undersökning av sex vattenprovtagare avsedda för inkommande kommunalt avloppsvatten, Kungl. Tekniska Högskolan, Avd. för VA-teknik och Vattenkemi, Publikation 73:2, Stockholm, 1973.
28. Schulz, J., Automaattinen näytteenotto jätevesistä, Vesihuoltolaitosten instrumentointi, INSKO 54 - 78 - XVIII.
29. Jätevesikuormituksen ja sen vaikutusten velvoitetarkkailu, Vesihallituksen julkaisuja 17, 1976.
30. Mattinen, E., Meloni, E., Jäteveden määränmittaus- ja näytteenottomenetelmistä, Seloste 1109, Ympäristönsuojelu 24, Oy Keskuslaboratorio, 1972.
31. Yleissuunnitelma sellu- ja paperiteollisuuden jätevesien tarkkailumenetelmiksi, Lausunto BY - 22170 - 4, Ekono Oy, 1972.
32. Thorsen, T., Oen, R., How to Measure Industrial Wastewater Flow, Chemical Engineering, February 1975.
33. Vettenranta, I., Ympäristönsuojelun mittaukset, puunjalostusteollisuus, Ympäristötekniikan mittaukset automaation osana, INSKO 91 - 80 - V.
34. Veiledning for prøvetaking ved avløpsanlegg, Statens forurensningstilsyn og Norsk institutt for vannforskning, Oslo, 1976.

35. Mougénot, G., Measuring Sewage Flow Using Weirs and Flumes, Water & Sewage Works, July 1974.
36. Prøvetagning af spildevand til kemisk analyse, Teknisk vejledning, Forslag til Dansk Standard, Udkast 6, August 1980.
37. BS 3680: Part 4 C: 1974, Methods of measurement of Liquid flow in open channels, Part 4 C, Flumes.
38. ASTM D 2034 - 68, Open channel flow measurement of water and waste water by weirs.
39. ISO 5667/1 - 1980(E), Water quality - Sampling - Part. 1: Guidance on the design of sampling programmes.



Taulukko 1. Virtausmittarit

Laitetoi- mittaja	Valmistaja	Huolto- liike	Laitteen merkki ja malli	Toimintaperiaate	Soveltuvuus ja rajoitukset teol- isuusjätevesille	Hinta (mk)
Oy Algol Ab	Bopp & Reuther GmbH	Oy Algol Ab		Avokanavavirtausmitta- ri, uimuriperiaate	Soveltuu varauk- sella, uimuriin saattaa tarttua rättejä yms.	Kysyttäes- sä
Consensio Oy	Detertronics Ltd	Consensio Oy	Detflow useita eri malleja	Putkivirtausmittari, Doppler-ilmiöön perus- tuva ultraäänimittari	Virtausnopeusmi- nimi 0,5 m/s	8400... 19000 mallista riippuen
Oy Ekströmin Koneliike	The Foxboro Company	Oy Ekströmin Koneliike	Foxboro	Putkivirtausmittari, magneettinen	Soveltuu	<sup>1)</sup> n.16000 Ø 50 mm:n putkelle
Elekkto- Dynamo Oy	Euromatic machine & oil Co Ltd	Elektro- Dynamo Oy	Euromatic, useita eri mal- leja	Putkivirtausmittari, Doppler-ilmiöön perus- tuva ultraäänimittari	Virtausnopeusmi- nimi 0,5 m/s	Kiinteäa- senteinen PD2 n.13000 kannettava PD3 n.10000
Endress + Hauser Oy	Endress + Hauser SpA	Endress + Hauser Oy	Silometer FMU 2180	Ultraääneen perustuva avokanavavirtausmittari	Soveltuu	18858
Oy Fischer & Porter Ab	Fischer & Porter GmbH	Oy Fischer & Porter Ab	Fischer & Porter, useita eri malle- ja putkikoosta riippuen	Putkivirtausmittari, magneettinen	Soveltuu	<sup>1)</sup> alkaen n.23000 putkikoos- ta ja mal- lista riip- puen
Oy Honeywell Ab	Yamatake- Honeywell Co, Ltd	Oy Honeywell Ab	Magnew, useita eri mal- leja putkikoos- ta riippuen	Magneettinen putki- virtausmittari	Virtausnopeus- minimi 0,3 m/s	<sup>1)</sup> alkaen n.15000 putkikoosta ja mallista riippuen

Kemian laboratorio

LITE 1 2

Taulukko 1. Virtausmittarit (jatkuu)

Laite-toimittaja	Valmistaja	Huolto-liike	Laitteenmerkki ja malli	Toimintaperiaate	Soveltuvuus ja rajoitukset teollisuusjätevesille	Hinta (mk)
Oy Kontram Ab	Paab Projekt-instrument-automatik Ab	Oy Kontram Ab	Paab	Avokanavavirtausmittari, pinnanmittaus kuplailuputkella	Soveltuu	-
"	Wesmar	"	Wesmar LMS 15K UFM-200	Ultraääneen perustuva avokanavavirtausmittari	Soveltuu	-
Oy Labko Ab	Oy Labko Ab	Oy Labko Ab + aluehuollot 8 kpl ympäristömaata	Labko AFM	Äänikaikuperiaatteella toimiva avokanavavirtausmittari	Soveltuu	4590
Oy Landis & Gyr Ab	Ludwig Krohne /Altometer	Oy Landis & Gyr Ab	Krohne, Altoflux useita eri malleja putkikoosta riippuen	Magneettinen putkivirtausmittari	Soveltuu	alkaen <sup>2)</sup> 6600 putkikoosta ja mallista riippuen
Oy E.Sarlin Ab	Flowmetering Instruments Ltd	Oy E.Sarlin Ab	Magflo 370	Magneettinen putkivirtausmittari	Soveltuu	alkaen 15580 putkikoosta ja mallista riippuen
"	Leeds & Northrup	"	475 Ultrasonic Doppler Flow-meter	Doppler-ilmiöön perustuva ultraääni-putkivirtausmittari	Soveltuu	12985
Oy Sintrol Ab	Cerlic Electronics Ab	Oy Sintrol Ab	Cerlic ALM 20, AFL	Ultraääneen perustuva avokanavavirtausmittari	Soveltuu	7795
"	Brooks Instrument BV	"	Series 7800 ja 7000	Magneettinen putkivirtausmittari	Soveltuu	alkaen <sup>1)</sup> 16420 putkikoosta ja mallista riippuen

Taulukko 1. Virtausmittarit (jatkuu)

Laitetoimittaja	Valmistaja	Huolto- liike	Laitteen merkki ja malli	Toimintaperiaate	Soveltuvuus ja rajoitukset teollisuusjätevesille	Hinta (mk)
Oy Sähkökonttori	Mesuco AG	-	Mesuco	Avokanavavirtausmittari, pintamittaus paineanturin avulla	Soveltuu	kysyttäessä
Oy Säättö Ab	Vega-Grieshaber KG	Oy Säättö Ab	Vegason 180 461 + Vegacomp 6591	Ultraääneen perustuva avokanavavirtausmittari	Soveltuu	9000 1)
"	"	"	Vegamet 406 + paineanturi 137 + Vegacomp 6591	Avokanavavirtausmittari, pintamittaus paineanturin avulla	Soveltuu	8260 1)
Ufotek Oy	Ab Modus	Ympäristö- laite Oy	Ufotek FGD	Avokanavavirtausmittari, pintamittaus paineanturin avulla	Soveltuu	6480 1)
"	"	"	Ufotek FGL	Avokanavavirtausmittari, pintamittaus kuplailuputkella	Soveltuu	5900 1)
"	"	"	Ufotek Ecom	Kaikuluotaava avokanavavirtausmittari	Soveltuu	6700 1)
"	"	"	Sonaflo S-1000	Doppler-ilmiöön perustuva putkivirtausmittari	Virtausnopeusminimi 0,5 m/s	7450
Ulmaelektro Sähkölähteenmäki Oy Elektroniikka	Ulmaelektro Sähkölähteenmäki Oy Elektroniikka	Päahuolto Ulmaelektrossa ja kussakin vesipiirissä huolto	LTR-200 (pinnan- korkeuslähetin + FLO-110 (taulua- sent. keskusyksikkö)	Avokanavavirtausmittari, pintamittaus paineanturin avulla	Soveltuu	6210
"	"	"	LTR-200 + FLO 200 (kenttäasent. keskusyksikkö)	"	Soveltuu	6030

Taulukko 1. Virtausmittarit (jatkuu)

Laite-toimittaja	Valmistaja	Huolto-liike	Laitteen merkki ja malli	Toimintaperiaate	Soveltuvuus ja rajoitukset teollisuusjätevesille	Hinta (mk)
Valmet Oy Instrumentti-tehdas	Valmet Oy Instrumentti-tehdas	Valmet Oy Instrumentti-tehdas	Press-Air	Avokanavavirtausmittari, pintamittaus kuplailuputkella	Soveltuu	n. 3000 <sup>1)</sup>
VS-Kone Ky	VS-Kone Ky	VS-Kone Ky	Virtausmittari VS 17 + VS 16	Avokanavavirtausmittari, pintamittaus kuplailuputkella	Soveltuu	4500
Oy Zeta Ab	Deber Kontroll Ab	Oy Zeta Ab	Debertronic	Ultraääneen perustuva avokanavavirtausmittari	Soveltuu	7000
"	Caleray Ltd	Oy Zeta Ab	Emflux, useita eri malleja putki-koosta riippuen	Magneettinen putki-virtausmittari	Soveltuu	alkaen 10000, putki-koosta ja mallista riippuen

1) anturi ja lähetin

2) anturi

Taulukko 2. Näytteenottimet

Laite-toimittaja	Valmistaja	Huolto-liike	Laitteen merkki ja malli	Toimintaperiaate	Soveltuvuus ja rajoitukset teollisuusjätevesille	Hinta (mk)
Oy Algol Ab	Bopp & Reuther GmbH	Oy Algol Ab	Baureihe PNK	Imee näytteen alipaineella	Soveltuu	kysyttäessä
Kaukomarkkinat Oy	Struers K/S	Kaukomarkkinat	Aquasampler HCV 12/14-24-24	Imee näytteen letkuputkella	Jätevesi ei saa sisältää paljon kiintoainetta	perusmalli 5500
Oy Labko Ab	Oy Labko Ab	Oy Labko Ab + aluehuollot 8 kpl ympäristömaata	Automaattinen näytteenotin WST	Puhallus/imu näytteenottoperiaate	Soveltuu	4900
Oy Sintrol Ab	Cerlic Electronics Ab	Oy Sintrol Ab	Näytteenotin CWS	Pneumaattinen	Soveltuu	8100
Ufotek Oy	Ab Modus	Ympäristölaitte Oy	Modus MS 201	Alipaine	Soveltuu	7850
"	"	"	Modus MS 300	Ylipaine	Soveltuu, vaatii paineilma-liitäntää	5400
"	"	"	Modus MS 400	Ylipaine	Soveltuu	6200
Ulmaelektrosähkölähtemäki Oy Elektroniikka	Ulmaelektrosähkölähtemäki Oy Elektroniikka	Päähuolto Ulmaelektrosä ja kussakin vesipiirissä piiri-huolto	Näytteenkeruulaitte SAM 100	Puhallus/imu näytteenottoperiaate	Soveltuu	kysyttäessä
"	"	"	Näytteenkeruulaitte SAM 120	"	Soveltuu	kysyttäessä
"	"	"	Näytteenotin UFA-300	"	Soveltuu	4400
Oy Zeta Ab	Deber Kontroll Ab	Oy Zeta Ab	Näytteenotin C 310	Näytteenotto astialla	Soveltuu	5800

Tämän selvityksen laatiminen julkaiseminen on sallittu vain Valtion teknillisen tutkimuskeskuksissa saatujen kirjallisten luvun perusteella.  
 Upplys publicering av denna rapport tillåts endast med skriftligt begivande från Statens tekniska forskningscentral.

## PUTKISTOVIRTAUSMITTARIT NESTEMITTAUKSIA VARTEN

Virtausmittari	Paine-ero		ROTAMETRI	Tilavuusmittari	Turbiini	Magneettinen	Ultraääni		Vortex
	Kuristuslaippa	Venturiputki					Aikaero	Doppler	
Valintaperuste									
Mitattava neste									
- puhdas	+	+	+	+	+	+	+	R	+
- korrosoiva	+	+	+	+	R	+	+	+	+
- liete tai massa	R	R	R	R	R	+	R	+	R
- viskoosi	R	R	R	+	R	+	+	+	R
Suorituskyky ilman lisä-laitteita									
- virtaussuhde max:min	3:1	5:1	10:1	15:1	10:1	100:1	100:1	20:1	100:1
- lineaarisuus			±1%	±2%	±0,25%	±0,25%	±0,5%	±1%	±0,5%
- toistettavuus	±0,1%	±0,1%	±0,1%	±2%	±0,25%	±0,25%	±0,5%	±1%	±0,5%
- tarkkuusluokka	±2%	±2%	±2%	±0,5%	±0,5%	±1%	±2%	±4%	±0,5%
Asennusvaatimukset									
- suoraa putkea ennen	20D	20D	0	0	15D	5D	5D	20D	15D
- suoran putken jälkeen	5D	5D	0	0	6D	2D	2D	5D	2D
- virtauksen tasaaja	S	S	0	S	S	0	S	S	S
Nimelliskoko									
- putki, min (mm)	25	25	12	25	12	3	25	25	25
- putki, max (mm)	2700	2700	80	300	600	1800			

R = rajoitettu, S = suositellaan

Taulukossa esiintyvät arvot ovat suuntaa antavia, eri valmistajien ratkaisut voivat poiketa huomattavasti esitetyistä. Valinnan helpottamiseksi olisi tärkeää ymmärtää eri vaihtoehtojen toimintaperusteet ja rajoitukset.

## AVOKANAVAMITTAUSTA KOSKEVIA STANDARDEJA

ISO 555/1-1973	Liquid flow measurement in open channels - Dilution methods for measurement of steady flow - Part I: Constant-rate injection method
ISO 555/2-1974	Liquid flow measurement in open channels - Dilution methods for measurement of steady flow - Part II : Integration (sudden injection) method
ISO 748-1979	Liquid flow measurement in open channels - Velocity-area methods
ISO 772-1978	Liquid flow measurement in open channels - Vocabulary and symbols Bilingual edition
ISO 1070-1973	Liquid flow measurement in open channels - Slope-area method
ISO 1088-1973	Liquid flow measurement in open channels - Velocity-area methods - Collection of data for determination of errors in measurement
ISO 1100-1973	Liquid flow measurement in open channels - Establishment and operation of a gauging-station and determination of the stage-discharge relation
ISO 1438-1975	Liquid flow measurement in open channels using thin-plate weirs and venturi flumes
ISO 1438/1-1980	Water flow measurement in open channels using weirs and venturi flumes - Part I: Thin-plate weirs
ISO 2425-1974	Measurement of flow in tidal channels
ISO 2537-1974	Liquid flow measurement in open channels - Cup-type and propeller-type current meters
ISO 3454-1975	Liquid flow measurement in open channels- Sounding and suspension equipment
ISO 3455-1976	Liquid flow measurement in open channels- Calibration of rotating-element current-meters in straight open tanks
ISO 3716-1977	Liquid flow measurement in open channels- Functional requirements and characteristics of suspended sediment load samplers

ISO 3846-1977	Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes - Free overfall weirs of finite crest width (rectangular broad-crested weirs)
ISO 3847-1977	Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes - End-depth method for estimation of flow in rectangular channels with a free overfall
ISO 4360-1979	Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes - Triangular profile weirs
ISO 4363-1977	Liquid flow measurement in open channels- Methods for measurement of suspended sediment
ISO 4364-1977	Liquid flow measurement in open channels- Bed material sampling
ISO 4366-1979	Echo sounders for water depth measurements
ISO 4369-1979	Measurement of liquid flow in open channels - Moving-boat method
ISO 4373-1979	Measurement of liquid flow in open channels - Water level measuring devices
ISO 4375-1979	Measurement of liquid flow in open channels - Cableway system for stream gauging



## PUTKIVIRTAUSMITTAUSTA KOSKEVIA STANDARDEJA

ISO 2186-1973	Fluid flow in closed conduits - Connections for pressure signal trans- missions between primary and secondary elements
ISO 2975/1-1974	Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part I: General
ISO 2975/2-1975	Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part II: Constant rate injection method using non -radioactive tracers
ISO 2975/3-1976	Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part III: Constant rate injection method using radioactive tracers
ISO 2975/6-1977	Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part VI: Transit time method using non-radio- active tracers
ISO 2975/7-1977	Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods - Part VII: Transit time method using radioactive tracers
ISO/TR 3313-1974	Measurement of pulsating fluid flow in a pipe by means of orifice plates, nozzles or venturi tubes, in particular in the case of sinusoidal or square wave inter- mittent periodic-type fluctuations
ISO 3354-1975	Measurement of clean water flow in closed conduits - Velocity-area method using current-meters
ISO 3966-1977	Measurement of fluid flow in closed conduits - Velocity area method using Pitot static tubes
ISO 4006-1977	Measurement of fluid flow in closed conduits - Vocabulary and symbols Bilingual edition
ISO 4053/1-1977	Measurement of gas flow in conduits - Tracer methods - Part I: General

ISO 4053/4-1978	Measurement of gas flow in conduits - Tracer methods - Part IV: Transit time method using radioactive tracers
ISO 4064/1-1977	Measurement of water flow in closed conduits - Meters for cold potable water - Part I: Specification
ISO 4064/2-1978	Measurement of water flow in closed conduits - Meters for cold potable water - Part II: Installation requirements
ISO 4185-1980	Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method
ISO 5167-1980	Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full
ISO 5168-1978	Measurement of fluid flow - Estimation of uncertainty of a low-rate measurement
ISO/TR 6817-1980	Measurement of conductive fluid flowrate in closed conduits - Method using electro- magnetic flowmeters



